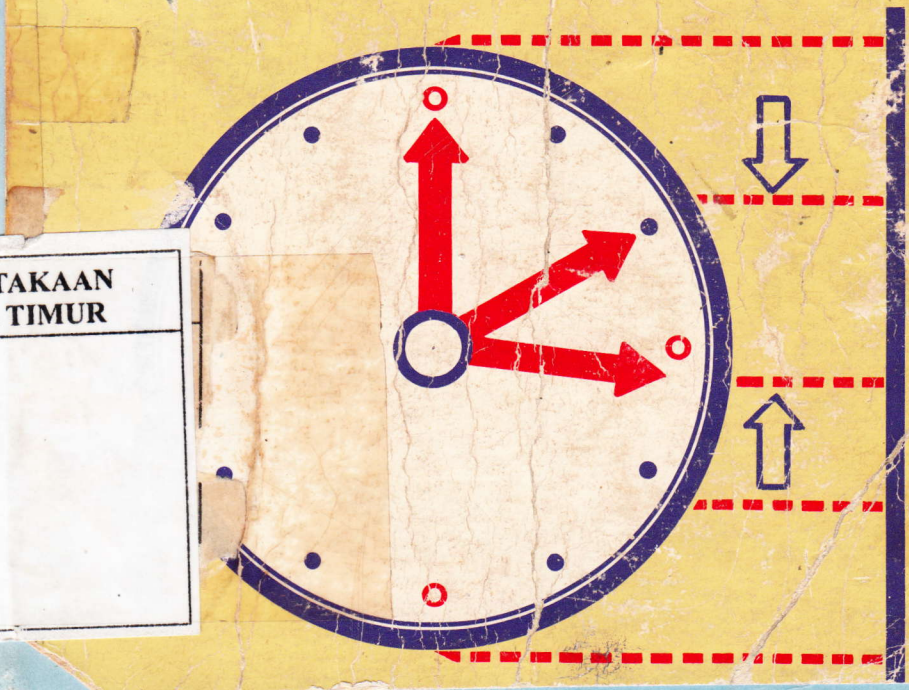
DINAMIKA DAN MEKANIKA

Untuk Perguruan Tinggi



PUSTAKAAN
AWA TIMUR

KATA PENGANTAR

Daya guna produk pendidikan yang dilaksanakan pada hari ini tidak bisa dilihat dan dinikmati hari ini, akan tetapi daya guna produk pendidikan itu dapat dilihat dan dinikmati oleh generasi-generasi penerus kita di masa depan. Barangkali itulah perbedaan yang prinsip antara membentuk manusia dengan membentuk barang dan produk-produk teknologi.

Adalah tidak terlalu ideal bahwa tujuan pendidikan kita untuk mencetak manusia seutuhnya, bila konsekuensi-konsekuensi guna menyongsong pencapaiannya ada. Akan tetapi apabila konsekuensi-konsekuensi tadi diragukan adanya maka adalah menjadi tanggung jawab kita bersama sebagai generasi yang lebih tua untuk ikut memikirkan serta melaksanakan langkah-langkah yang diperlukan agar hari esok generasi penerus kita akan lebih cerah daripada kita pada hari ini.

Barangkali ini adalah cita-cita seorang pendidik dan seorang bapak pada umumnya. Kita telah mengetahui bahwa dalam dunia pendidikan, peranan buku adalah sangat besar. Dengan didorong oleh naluri, kami sebagai pendidik yang mempunyai motivasi sama dengan apa yang dikatakan di atas dan dengan melihat buku-buku yang beredar, timbullah hasrat kami untuk menulis buku ini yang berjudul *Dinamika dan Mekanika untuk Perguruan Tinggi*.

Buku ini ditulis terutama untuk para mahasiswa Jurusan Ekonomi, Administrasi Niaga, Teknik Industri, Manajemen Industri, Teknik Produksi/Konstruksi dan Teknologi pada umumnya. Namun para pembaca lainnya yang berminat mendalami perencanaan produksi dan manajemen fabrikasi, dapat pula memakainya.

Barangkali ada pembaca yang menilai bahwa dalam buku ini masih banyak terdapat ketidaksempurnaan. Keadaan seperti ini adalah suatu hal yang wajar karena setiap penulis akan mempunyai kekurangan-kekurangannya, di samping kelebihan-kelebihannya. Namun dengan hadirnya buku ini minimal akan menambah khasanah kepustakaan para pembaca dengan berbagai penerapannya di lapangan.

Malang, Mei 1991

Penulis,

Ir. SUHARTO

DAFTAR ISI

Kata Pengantar v

1. Mekanika Gerakan 1

1. 0. Pengenalan 1
1. 1. Pengertian Gaya 2
1. 2. Penjumlahan dan Pengurangan Gaya 4
1. 3. Prinsip Kesetimbangan Gaya 6
1. 4. Kesetimbangan Benda Kaku 9
1. 5. Gerakan Lurus 10
1. 6. Kerja dan Tenaga 14
1. 7. Titik Berat Sistem 23
1. 8. Momen Inertia 28
1. 9. Gerakan Berputar 31

2. Mekanika Fluida 41

2. 0. Pengenalan 41
2. 1. Fluida Statis 42
2. 2. Sifat-sifat Fisis Fluida 49
2. 3. Aliran Fluida 53
2. 4. Persamaan Kontinyuitas 55
2. 5. Hukum Bernoully 56
2. 6. Kriteria Aliran Fluida 64
2. 7. Tekanan Statis Fluida 66
2. 8. Tekanan Dinamis Fluida 67
2. 9. Fluida Nyata 68
2.10. Tekanan Kerja Mesin Fluida 73
2.11. Tenaga Mesin Fluida 77
2.12. Fluid Planes Analisys 84

3. Mekanika dan Pengetahuan Bahan 100
3. 0. Pengenalan 100
3. 1. Macam dan Karakteristik Bahan 101
3. 2. Hukum Hooke dan Tegangan Bahan 106
3. 3. Metal dan Karakteristik Spesifiknya 110
3. 4. Momen Kelembaman 114
3. 5. Gaya dan Tegangan Tarik 118
3. 6. Gaya dan Tegangan Tekan 121
3. 7. Gaya dan Tegangan Geser 123
3. 8. Momen dan Tegangan Bengkok 125
3. 9. Tekukan 129
3.10. Lenturan 131
3.11. Momen dan Tegangan Puntir 133
3.12. Harga Tetapan Pegas Equivalent 162

4. Gerak dan Getaran 167
4. 0. Pengenalan 167
4. 1. Tetapan Damping 169
4. 2. Analisa Getaran 175
4. 3. Getaran Bebas 180
4. 4. Getaran Paksa 187
4. 5. Putaran Kritis Poros 193
4. 6. Methode Tabulasi Holzer 199
4. 7. Balancing System 207

***

MEKANIKA GERAKAN 1

1.0. PENGENALAN

Seperti kita ketahui bahwa pada mesin-mesin fluida bekerja beban dan sekaligus gerakan baik translasi maupun rotasi atau gabungan dari dua macam gerakan tersebut di atas

Memahami akan sifat serta ukuran besarnya beban yang bekerja padanya di samping mengetahui dengan pasti frequensi serta temperatur operasinya adalah suatu hal yang sangat diperlukan terutama sekali dalam hal memperhitungkan jenis bahan, ukuran serta biaya mesinnya. Suatu mesin yang bekerja dengan beban kecil serta kondisi lapangan yang relatif ringan (tidak terjadi fluxtuasi beban) akan mempunyai kecenderungan usia pakai yang relatif lebih lama dibandingkan dengan mesin yang bekerja dengan beban besar dan apalagi kondisi lapangannya relatif berat (terjadi fluxtuasi beban).

Ada pengaruh antara gerakan dengan beban pada mesin fluida.

Oleh sebab itu pengetahuan tentang gerakan mekanisme paling tidak, perlu untuk diberikan demi menunjang pengetahuan mesin fluidanya sendiri.

1.1. PENGERTIAN GAYA

Kalau kita amati sebuah benda yang jatuh bebas ke bawah akan nampak bahwa di samping ukurannya sendiri sebesar W (kg), maka benda tadi juga mempunyai ciri lain yaitu arahnya ke bawah.

Suatu besaran dengan ukuran besar serta arah bekerjanya disebut "gaya" atau dengan kata lain bahwa gaya adalah besaran Vektoris yaitu suatu besaran yang lengkap dengan arah.
Meninjau gaya itu sendiri dalam prakteknya terjelma dari berbagai sebab di antaranya adalah :

1. Gaya Berat

Seperti telah disebutkan di atas bahwa gaya ini terjadi oleh sebab berat benda dan arahnya selalu tegak lurus bumi.

2. Gaya Karena Tekanan

Dalam bentuk lain, gaya adalah tekanan dikalikan luasan. Bila ditulis terdapat hubungan :

$$P\ (kg) = p\ (\frac{Kg}{cm^2})\ .\ A\ (cm^2)$$

di mana P adalah gaya, p adalah tekanan dan A adalah luasan penampang.

Penerapan yang nyata dari tekanan seperti apa yang dimaksudkan di atas sebagai contoh tekanan hydrostatika fluida, tekanan hydrodinamika.

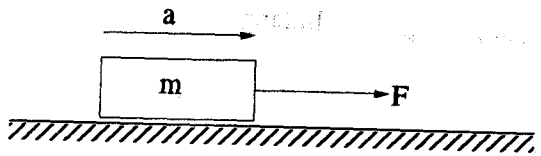
3. Gaya Karena Percepatan

Seorang konseptor yang terkenal mengenai gaya karena percepatan ini adalah Tuan Newton dengan hukum kedua Newton.

Bila ditulis dalam bahasa matematik :

$$F = m.a$$

di mana F adalah total penjumlahan gaya (Kg), m adalah massa benda yang bergerak di mana massa benda adalah berat benda dibagi dengan percepatan grafitasi g dan g mempunyai ukuran besar 9,81 m/det^2; sementara itu a adalah accelerasi dari benda yang bergerak atau disebut pula perubahan kecepatan persatuan waktu (m/det^2).



Gaya karena percepatan ini mempunyai Vektor arah sama dengan Vektor arah percepatan.

Gaya yang ditahan oleh mekanisme bergerak diidentifikasi mempunyai arah berlawanan dengan Vektor arah percepatan di atas dan disebut sebagai gaya inertia ($F^i = - m.a$).

4. Gaya Karena Gesekan

Gaya gesekan antara dua media yang saling bergesekan pada prinsipnya dipengaruhi oleh koeffisient gesek di antara media tadi.

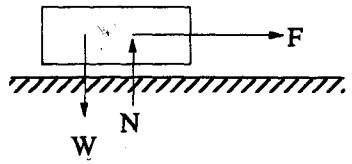
Besar kecilnya koeffisient gesek tadi dipengaruhi oleh keadaan permukaan yang saling bergesekan. Menurut penelitian, besar kecilnya koeffisient gesek tadi dipengaruhi oleh berat jenis dua macam media tadi di samping dipengaruhi oleh kecepatan. Makin besar berat jenisnya, permukaan benda yang bergesekan semakin halus sehingga koeffisient geseknya semakin kecil.

Di pihak lain koeffisient gesek dipengaruhi oleh kecepatan gerak; makin cepat maka koeffisient geseknya semakin kecil.

Adapun gaya karena gesekan ini dirumuskan sebagai :

$$F = \mu\ .\ N.$$

di mana F adalah gaya gesek (Kg), μ adalah koeffisient gesek (tanpa satuan) dan N yaitu gaya normal atau dengan lain kata gaya yang tegak lurus bidang gesek. Sebagai gambaran, berikut ditampilkan sebuah balok yang ditarik dengan gaya F pada suatu bidang datar.



Berat benda dalam hal ini adalah W (Kg) dan gaya reaksi bidang datar adalah N.

maka : W = N.

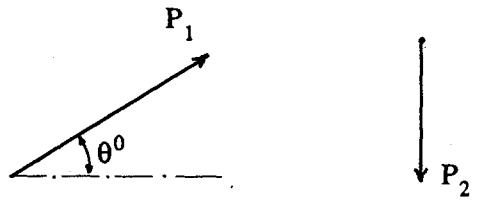
sehingga :

$$F = \mu \, . \, N = \mu \, . \, W.$$

1.2. PENJUMLAHAN DAN PENGURANGAN GAYA

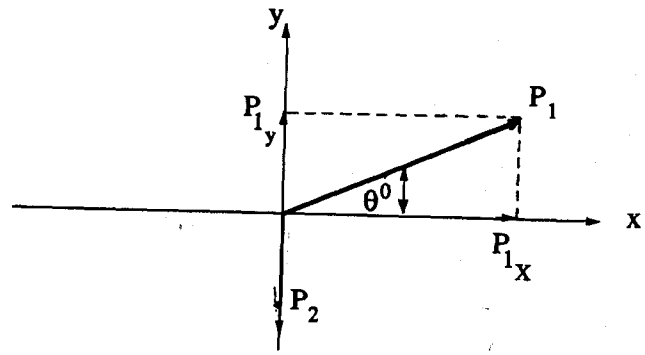
Telah kita ketahui bahwa gaya adalah suatu besaran Vektoris. Maka oleh karena itu penjumlahan dan pengurangannya harus mengikuti sifat-sifat vektor.

Berikut ini dicoba diberikan dua buah gaya P_1 dan P_2 dengan arah yang berbeda-beda.



P_1 membentuk sudut θ^O dari sumbu horizontal, sedang P_2 tegak lurus sumbu horizontal.

Bila persoalan tersebut diuraikan pada sumbu salib cartesian, maka dua buah gaya tadi dapat digambar sebagai berikut :



Total gaya ke arah sumbu x adalah

$$P_{1x} = + P_1 \cos \theta \text{ yang arahnya ke kanan.}$$

sigma gaya ke arah sumbu y adalah :

$$+ P_{1y} - P_2 = 0 \quad \text{atau} \quad P_{1y} = P_2$$

sehingga $P_1 \sin \theta = P_2$.

Gaya gabungan dengan arah relatif terhadap sumbu x maupun sumbu y disebut dengan resultante gaya dan dapat dicari dengan rumus pytagoras.

$$P_R = \sqrt{P_x^{\,2} + P_y^{\,2}}$$

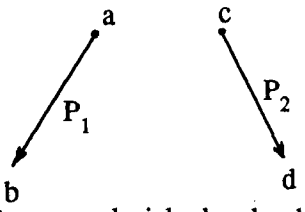
Dalam persoalan di atas resultante gaya yang terjadi adalah:

$$P_R = \sqrt{P_{1x}^{\,2} + (P_{1y} - P_2)^2}$$

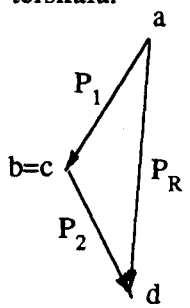
Sepintas bila kita lihat bahwa resultante gaya adalah gaya yang bisa dipakai sebagai gaya pengganti dari sekian banyak gaya yang bekerja di situ.

Sedangkan cara lain untuk mencari resultante gaya adalah dengan menggunakan segitiga gaya.

Disajikan contoh berikut dari dua gaya P_1 dan P_2 dengan besar dan arah yang berbeda.



Resultante gaya dari kedua buah gaya di atas dapat dicari dengan diagram gaya yaitu dengan menskala gaya-gaya P_1 dan P_2, kemudian pangkal c digeser ke ujung b dengan arah tetap. Kemudian ujung a ditarik ke d. Garis $\overline{ad}$ ini adalah merupakan resultante gaya yang terskala.



Dengan mengalikan terhadap ukuran skalanya maka didapat ukuran P_R yang sebenarnya.

1.3. PRINSIP KESETIMBANGAN GAYA

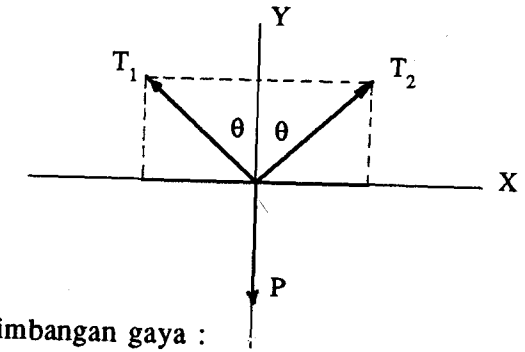
Di atas telah disebutkan bahwa resultante adalah merupakan gaya pengganti dari sistem gaya yang bekerja pada suatu titik.

Ini berarti apabila ujung anak panah resultante dibalik di mana anak panah diletakkan pada pangkal gaya maka gaya yang terjadi adalah saling menghilangkan.

Dalam arti lain keadaan demikian dikatakan bahwa penjumlahan gaya yang terjadi pada suatu titik adalah sama dengan nol.

Titik yang berada dalam keadaan demikian disebut setimbang.

Atau dengan lain perkataan bahwa setimbang di sini adalah bahwa gaya aksi (gaya luar karena beban + berat sendiri) secara penuh mampu didukung oleh mekanisme. Disajikan contoh berikut prinsip kesetimbangan gaya dengan methode analisa gaya-gaya :



Syarat kesetimbangan gaya :

Penjumlahan gaya-gaya ke arah sumbu x = 0

$$\rightarrow \boxed{\Sigma F_x = 0}$$

maka : $T_1 \sin \theta + T_2 \sin \theta$

atau $T_1 = T_2$

Penjumlahan gaya-gaya ke arah sumbu y = 0, maka :

$$T_1 \cos \theta + T_2 \cos \theta = P$$

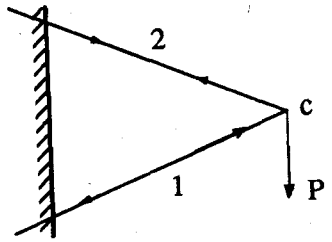
jadi $P = 2 \, . \, T_1 \cos \theta$

Methode lain yang bisa dipakai adalah apa yang disebut methode "Cremona".

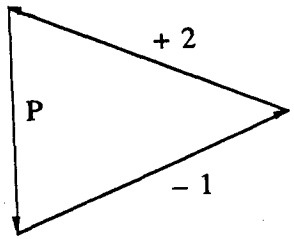
Pada dasarnya methode ini adalah menggunakan segitiga gaya.

Disajikan contoh di sini yaitu untuk mencari reaksi gaya yang

ditahan oleh batang 1 dan batang 2 sebagai akibat adanya gaya luar P.



Dengan diagram Cremona, maka kesetimbangan di titik C dapat digambar.



Seperti telah disebutkan di atas bahwa syarat titik dalam kesetimbangan gaya bila anak panah dari suatu segitiga gaya selalu bertemu dengan pangkal gaya.

Dengan mempertimbangkan terhadap sifat-sifat ini maka titik C berada dalam kondisi setimbang dengan gaya reaksi pada batang 1 menuju titik tersebut dan batang 2 dengan gaya reaksi yang meninggalkan titik tersebut.

Gaya reaksi batang yang menuju titik C (titik C ini pada umumnya disebut titik simpul) disebut gaya reaksi yang bersifat tekan dan diberi symbol tanda minus, sedangkan gaya reaksi batang yang meninggalkan titik C disebut gaya reaksi positif atau gaya reaksi yang bersifat tarik pada batang. Perlu diingat di sini bahwa

di dalam penggambaran diagram Cremona, gaya P dibuat dengan skala gaya, reaksi batang-batang digambarkan sejajar dengan pemasangan batang-batang yang ada.

Sehingga gaya-gaya reaksi ini dapat diketahui pastinya setelah diperhitungkannya terhadap skala gaya yang dipakai.

1.4. KESETIMBANGAN BENDA KAKU

Sebelum kita melangkah lebih jauh tentang kesetimbangan benda kaku, alangkah lebih baiknya kita kenalkan apa itu momen.

Momen adalah gaya dikalikan jarak.

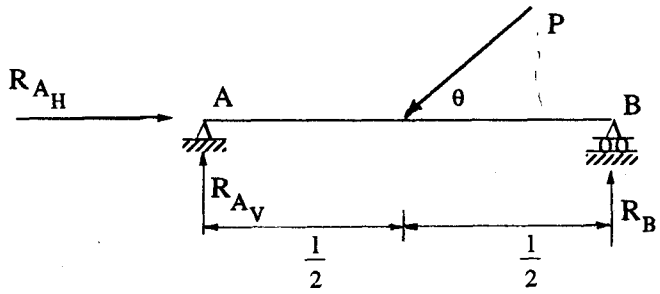
Sedangkan di dalam persoalan prinsip kesetimbangan benda kaku diperhitungkan dengan prinsip-prinsip.

Penjumlahan gaya-gaya serta momen-momen terhadap suatu titik sama dengan nol.

maka

$$\Sigma F = 0$$
$$\Sigma M = 0$$

Disajikan contoh pemakaiannya pada persoalan berikut :



$\Sigma F_x = 0$, maka $R_{A_H} - P \sin \theta = 0$

$\Sigma F_y = 0$, maka $P. \cos \theta - R_{A_V} - R_B = 0$

$\Sigma M(A) = 0$, maka $P. \cos \theta \ \frac{1}{2} - R_B. 1 = 0$

Dari persamaan-persamaan tadi didapat $R_B = \frac{P}{2} . \cos \theta$

dan $R_{A_V} = \frac{P}{2}. \cos \theta$

Sedangkan $R_{A_H} = P. \sin \theta$

Di dalam praktek benda kaku berada di dalam tiga dimensi (sumbu x, y dan z), sehingga syarat kesetimbangan berkembang menjadi

$\Sigma F_x = 0, \ \Sigma F_y = 0, \ \Sigma F_z = 0$

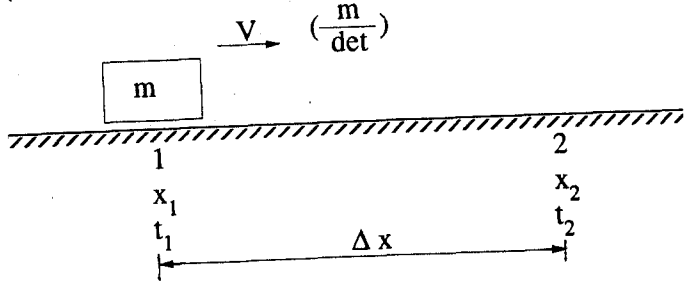
dan ΣM_i (.....) = 0

1.5. GERAKAN LURUS

Gerakan lurus atau sering pula disebut gerakan linier adalah gerakan yang membentuk dan atau dibentuk oleh garis lintasan lurus.

Di dalam membicarakan perihal gerakan lurus maka beberapa hal yang musti terdapat adalah apa yang disebut jarak.

Jarak adalah beda antara satu titik terhadap titik yang lain, maka apabila ada suatu benda yang bergerak dengan kecepatan V (m/det)



Sejajar dengan permukaan, dapat ditulis hubungan antara parameter-parameter tadi ke dalam bahasa matematik :

$$x = V \ (\frac{m}{det}). \ t \ (det)$$

di mana t adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai jarak x tadi (detik).

Bila dianggap bahwa kecepatan pergerakan massa m tadi adalah tetap, maka dapatlah persamaan di atas ditulis menjadi :

$$(x_2 - x_1) = V \ (t_2 - t_1)$$

di mana $(x_2 - x_1)$ disebut jarak antara titik 1 ke titik 2 dan disingkat Δx dan $(t_2 - t_1)$ disebut beda waktu dan disingkat Δt, sehingga:

$V = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, dan dalam keadaan posisi titik 2 dekat sekali dengan titik 1 yang dalam lain istilah bahwa kedua titik ini berimpit maka :

$V = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$, atau

$dx = V. dt.$ dan bila diintegralkan didapat :

$$\int dx = \int V. \ dt$$

$x + C_1 = V.t + C_2$, di mana C_1 dan C_2 dicari dari kondisi-kondisi pembatas.

Untuk persoalan di atas di mana pada kondisi awal yaitu pada $t = 0$ katakanlah jarak yang ditempuh belum ada atau dengan kata lain $x = 0$, maka :

$0 + C_1 = 0 + C_2$, sehingga $C_1 = C_2$

sehingga :

$$x = V.t$$

Karena dalam selang waktu tertentu terdapat beda kecepatan, sahingga berkembanglah dalam mekanika gerakan ini apa yang disebut percepatan; atau dengan kata lain dikatakan bahwa percepatan adalah kecepatan persatuan waktu.

Bila ditulis dalam bahasa matematik, percepatan adalah :

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$, dan dalam kondisi posisi titik

2 berimpit dengan titik 1 maka :

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta^2 x}{\Delta t^2}$$

$$a = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2.x}{dt^2}$$

Bila persoalannya dibalik, yaitu :

$dV = a.dt$ dan bila ini diintegralkan didapat

$\int dV = \int a.dt$, maka :

$V + C_3 = a.t + C_4$, di mana C_3 dan C_4 dapat dicari dari kondisi-kondisi pembatas.

Dalam persoalan yang diajukan di atas, di mana pada $t = 0$ katakanlah ia belum bergerak atau dengan kata lain $V = 0$, maka :

$0 + C_3 = 0 + C_4$, sehingga $C_3 = C_4$

Karena $C_3 = C_4$, maka :

$V = a.t$

Bila persamaan terakhir ini disubstitusikan ke dalam persamaan $dx = Vdt$ maka didapat :

$\int dx = \int a \,.\, t.\, dt$

$$x + C_5 = \frac{1}{2}.\, a \,.\, t^2 + c_6$$

Dalam persoalan yang kita bicarakan di atas di mana pada $t = 0$ katakanlah ia belum menempuh jarak atau dengan lain kata $x = 0$, maka :

$0 + C_5 = 0 + C_6$, sehingga $C_5 = C_6$

Dengan demikian maka :

$$x = \frac{1}{2} \,.\, a \,.\, t^2.$$

Dalam hal yang dimaksud dalam persoalan ini di mana pada $t = 0$ katakan saja misalnya $V = V_0$, maka :

$V_0 + C_3 = 0 + C_4$

maka $V_0 = (C_4 - C_3)$

Sedangkan : $V = a \,.\, t + (C_4 - C_3)$

maka : $V = V_0 + a \,.\, t$

sehingga :

$$\int dx = \int (V_0 + at)\, dt$$

$$x + C_7 = V_0.\, t + \frac{1}{2}.\, a \,.\, t^2 + C_8$$

Pada $t = 0$ diassumsikan $x = 0$, maka :

$0 + C_7 = 0 + 0 + C_8$; sehingga $C_7 = C_8$

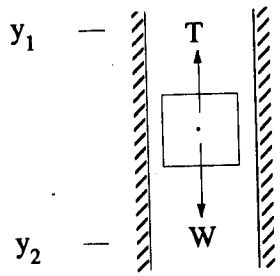
Karena $C_7 = C_8$ maka berarti :

$$x = V_0 \,.\, t + \frac{1}{2} \,.\, a \,.\, t^2.$$

Dari uraian di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa kecepatan adalah differential pertama dari jarak dan percepatan adalah differential kedua dari jarak.

1.6. KERJA DAN TENAGA

Bila kita amati sebuah benda seberat W (Kg) yang bergerak turun secara alam dari ordinat y_1 sampai pada ordinat y_2, seperti pada gambar; keadaan ini disebut kerja



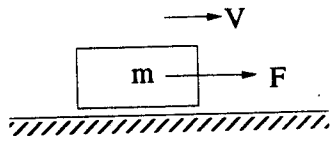
Kalau ditulis dalam bahasa matematik, kerja yang dilakukan oleh benda tersebut adalah :

$= W\ (Kg) \cdot x\ (m)$

untuk persoalan yang berbeda, di mana bukan oleh sebab tarikan alam akan tetapi katakanlah benda tadi tujuannya akan ditarik ke atas dengan gaya T (di mana karena friksi dan percepatan benda, maka T lebih besar dari W) dari posisi y_2 ke posisi y_1 maka di sini disebut bahwa sistem berat membutuhkan usaha.

Dari dua macam kejadian di atas dapatlah ditarik pengertian bahwa kerja berarti menghasilkan energi, namun pada usaha berarti perlu energi yang disuplaikan ke dalam sistem. Bila kita tinjau terhadap keadaan materi atau keadaan benda yang bergerak, sebagai diilustrasikan benda dengan massa m dan bergerak dengan kecepatan V_1 di mana

$$m = \frac{W(Kg)}{g(\frac{m}{det^2})} \text{ dan } V = (\frac{m}{det})$$



maka besarnya gaya F untuk menggerakkan massa m ke arah yang sama dengan arah V adalah :

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \frac{dx}{dx}$$

$$= m \cdot \frac{dx}{dt} \cdot \frac{dv}{dx}$$

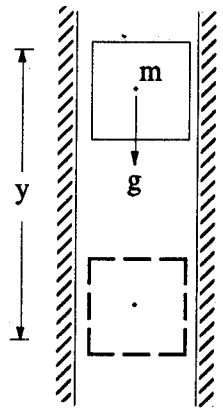
Sehingga $F.dx = m \cdot \frac{dx}{dt} \cdot dv$, dan bila diintegralkan didapat :

$\int F.\ dx = \int m.v.\ dV$, maka

$$F \cdot x = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2,$$

Sehingga besarnya energi gerak atau energi kinetis adalah :

$$E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2.$$



Dengan cara yang sama dapat diterapkan pula perumusan energi karena ketinggian atau energi potential dari suatu benda yang berada pada ketinggian tertentu.

Berikut ini dicoba untuk dianalysa sebuah benda dengan berat W (Kg) dijatuhkan secara alam dengan beda ketinggian y dan gaya berat W = m . g.

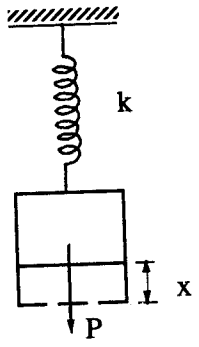
Sedangkan energi :

$$\int W.\ dy = \int m.g.dy = m.g.\ (y_2 - y_1)$$

jadi energi potensial benda jatuh secara alam adalah

$$Ep = m \cdot g \cdot y.$$

Bila perumusan tadi dikembangkan lebih lanjut untuk mengamati perubahan deflexi pegas sebesar x, dengan konstanta pegas sebesar k, maka hubungan antara gaya penarik pegas P (Kg) terhadap x (m) dan k (Kg/m) dapat ditulis :



$$P\ (kg) = k\ \left(\frac{Kg}{m}\right).\ x\ (m).$$

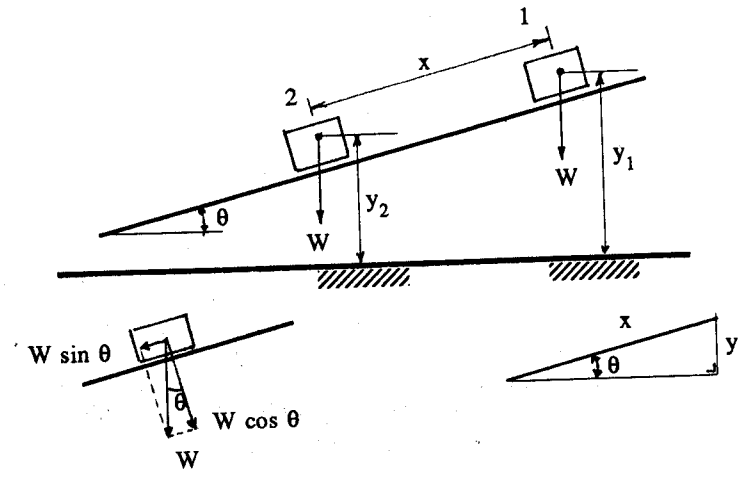
Sehingga dengan demikian energi potensial pegas adalah :

$$Ep = \int P.dx = \int k.x.dx = \frac{1}{2}\ .\ k\ .\ x^2.$$

jadi

$$Ep_{pegas} = \frac{1}{2}\ .\ k\ .\ x^2$$

Sementara itu bila kita tinjau sebuah balok pada posisi 1 yang meluncur bebas hingga sampai pada posisi 2 dapat kita turunkan hubungan-hubungannya dengan pertolongan gambar berikut.



Menurut Hukum Newton kedua :

$$\Sigma F = m.a, \text{ maka}$$

$$F - W.\sin\theta - \mu.W.\cos\theta = m.a$$

$$F = m.a + W.\sin\theta + \mu.W.\cos\theta$$

$$F = m\ .\ V\ .\ \frac{dV}{dx} + W.\sin\theta + \mu.W.\cos\theta$$

atau

$$F\ .\ dx = m.V.\ dV + W.\sin\theta.\ dx + \mu.W.\cos\theta.\ dx.$$

Bila masing-masing ruas dari persamaan terakhir ini kita integralkan akan didapat :

$$\int F.dx = \frac{1}{2}\ m\ .\ V^2 \Big|_{v_1}^{v_2} + \int W.\ dy + \int F_f.\ dx$$

$$= \frac{1}{2}\ m\ (V_2^2 - V_1^2) + W\ (y_2 - y_1) + F_f\ (x_2 - x_1).$$

Bila friksi dalam persoalan ini dianggap tidak ada, maka :

$$W = \text{work} = \text{kerja} = \left(\frac{1}{2}\ .m.\ V_2^2 - \frac{1}{2}\ .m.\ V_1^2\right) + (W.y_2 - W.y_1).$$

Dan bila gaya luar F = 0 atau dengan kata lain benda tidak diganggu, maka berlaku :

$$\left(\frac{1}{2}\ m.\ V_2^2 - \frac{1}{2}\ .\ m\ .\ V_1^2\right) + (W\ .\ y_2 - W\ .\ y_1) = 0$$

Sehingga :

$$\frac{1}{2}\ .\ m\ .\ V_2^2 + W\ .\ y_2 = \frac{1}{2}\ .\ m\ .\ V_1^2 + W\ .\ y_1\ .$$

atau

$$E_{K_2} + E_{p_2} = E_{K_1} + E_{p_1}$$

PERPUSTAKAAN DAERAH JAWA TIMUR
JL. MENUR PUMPUNGAN No. 32
S U R A B A Y A
TAHUN ANGGARAN 1996 / 1997

Dus $E_K + E_p = C$

Dari persamaan terakhir ini dapat ditarik suatu pengertian bahwa apabila benda dalam keadaan tidak diganggu dan friksi tidak ada maka jumlah energi kinetis dan energi potensial setiap titik adalah tetap. Hukum ini disebut dengan hukum kekekalan energi. Pada langkah berikutnya akan dibahas apa yang disebut tenaga atau daya atau dalam bahasa asingnya power.

Tenaga adalah kerja persatuan waktu.

Dirumuskan dalam bahasa matematik bahwa tenaga

$$N = \frac{dw}{dt} = \frac{F.dx}{dt} = F \cdot \frac{dx}{dt} = F.\ V$$

di mana arah Vektor F harus sejajar serta searah dengan Vektor V.

Bila dikaji lebih dalam lagi dengan analisa dimensi dari perumusan terakhir ini didapat :

$$N = F\ (Kg)\ .\ V\ \left(\frac{m}{det}\right).$$

atau

$$N = F\ .\ V\ \left(\frac{Kg.m}{det}\right).$$

Sementara itu menurut percobaan ahli ilmu alam terdahulu didapat bahwa rata-rata tenaga seekor kuda adalah equivalent dengan 75 kg.m/det

Kemudian pemberian sebutan tenaga engine (mesin penggerak) serta machine (mesin yang digerakkan) menggunakan tolok ukur tenaga kuda atau dalam bahasa asingnya disebut horse power atau H.P.

Sehingga perumusan daya adalah :

$$N = \frac{F\ (Kg)\ .\ V\ \left(\frac{m}{det}\right)}{75\ \left(\frac{Kg.m}{det.HP}\right)}$$

atau :

$$\boxed{N = \frac{F.V}{75}\quad (H.P)}$$

di mana F adalah gaya (Kg), V adalah kecepatan atau dalam bahasa asingnya vellocity (m/det).

Dengan kemajuan teknologi listrik didapatkan equivalensi horse power terhadap tenaga listrik yaitu :

$$1\ HP = 746\ watt.$$

sedang dengan kemajuan ilmu pengetahuan serta teknologi Mesin dan Kimia didapat equivalensi daya bahan bakar yaitu :

$$1\ HP = 632\ \frac{K_{cal}}{jam}$$

Dari beberapa equivalensi daya tadi ditulis persamaan keseimbangan power antara input dan output sebagai pengembangan implementasi hukum keseimbangan energi :

$$m\left(\frac{liter}{jam}\right) \cdot L\left(\frac{K_{Cal}}{liter}\right) = B\left(\frac{liter}{jam}\right) \cdot Kj\left(\frac{K_{Cal}}{liter\,^{o}C}\right) \cdot \Delta t(^{o}C)$$

$$= \frac{P.V}{75}\ (HP)\ .\ 632\ \left(\frac{K_{Cal}}{HP.jam}\right)$$

$$= P_x\ (watt) \cdot \frac{1}{746} \cdot \left(\frac{HP}{watt}\right) \cdot 632\ \left(\frac{K_{Cal}}{HP.jam}\right)$$

di mana m adalah konsumsi bahan bakar engine, L adalah nilai pembakaran bahan bakar, B adalah kapasitas produksi media yang dipanaskan (bisa berupa gas, media cair dan bisa pula media padat), Kj adalah kalor jenis media, Δ t adalah beda temperatur yang terjadi pada media, P adalah gaya, V adalah kecepatan, dan P_x adalah tenaga listrik.

Persamaan terakhir ini dapat dipakai untuk mengkalkulasi konsumsi bahan bakar engine, namun dalam praktek masih dimasukkan pula panas yang hilang karena dinding sistem, gesekan mekanisme serta faktor turbulensi udara dalam engine processes.

Efficientcy total dari engine adalah sebagai berikut :

Motor Bensin	$\eta_{ov} = 0{,}28$
Motor Diesel	$\eta_{ov} = 0{,}44$
Turbin Gas	$\eta_{ov} = 0{,}14$
External Combustion & dryer system	$\eta_{ov} = 0{,}25$

Sehingga kondisi riil adalah :

$$m \cdot L = \frac{1}{\eta_{ov}} \cdot B \cdot Kj \cdot \Delta t$$

$$= \frac{1}{\eta_{ov}} \cdot P \cdot V \cdot \frac{1}{75} \cdot 632$$

$$= \frac{1}{\eta_{ov}} \cdot \frac{1}{746} \cdot 632 \cdot P_x.$$

Contoh soal 1 :

Sebuah pabrik pengawetan ikan memproduksi ikan yang diawetkan dengan kapasitas B $(\frac{Kg}{jam})$

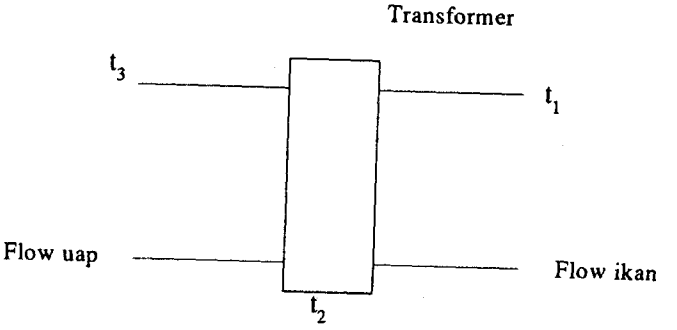
Menurut laboratorium teknologi perikanan didapat bahwa untuk proses pengawetan tersebut, ikan tadi harus dipanaskan pada temperatur Δt °C dengan kondisi media pemanas yang mengandung sekian prosen uap air, dan pada temperatur sebesar itu kalor jenis untuk ikan tersebut adalah Kj $(\frac{Kcal}{Kg.\,°C})$

Ditanya : Perencanaan Power Plant dari instalasi mesin pemroses.

Penyelesaian :

Karena dalam proses pengawetan ini mengandung uap air, maka dipakai uap dari ketel uap untuk dryer system pengawetan ikan tersebut.

Power balance dari sistem pengawetan ikan tadi adalah :



Flow uap $\approx$ Flow ikan

$$B_{uap}\,(\frac{Kg}{jam}).\ Kj_{uap}\,(\frac{Kcal}{Kg.\,°C}).\ \Delta t_u\,(°C).\ \eta_{ovd} =$$

$$B_{ikan}\,(\frac{Kg}{jam}) \cdot Kj_{ikan}\,(\frac{Kcal}{Kg.\,°C}).\ \Delta t_i\,(°C)$$

di mana $\Delta t_u = (t_3 - t_2)$ dan $\Delta t_i = (t_2 - t_1)$

t_3 adalah temperatur uap dari ketel dan t_1 adalah temperatur ikan dari udara bebas sebelum diproses di dalam dryer unit, η_{ov_d} adalah efficientcy dryer unit.

Kebutuhan uap adalah :

$$B_{uap} = \frac{Kj_u \cdot \Delta t_u}{Kj_i \cdot \Delta t_i \cdot \eta_{ov_d}} \cdot B_{ikan} \left(\frac{Kg}{jam}\right)$$

Power balance pada ketel uapnya sendiri :

$$m \left(\frac{Kg}{jam}\right) \cdot L \left(\frac{Kcal}{Kg}\right) \cdot \eta_{ov.K} = B_{uap} \left(\frac{Kg}{jam}\right) \cdot Kj_u \left(\frac{Kcal}{Kg°C}\right) \cdot \Delta t \ (°C)$$

di mana $\Delta t = (t_3 - t_0)$, t_0 adalah temperatur air di udara bebas dan $\eta_{ov.K}$ adalah efisiensi ketel uap.
Sehingga konsumsi bahan bakar ketel uapnya adalah :

$$m = \frac{1}{L} \cdot \frac{Kj_u \cdot \Delta t_u}{Kj_i \cdot \Delta t_i \cdot \eta_{ov.d}} \cdot Kj_u \cdot \Delta t \cdot B_{ikan} \cdot \frac{1}{\eta_{ov.K}} \left(\frac{Kg}{jam}\right)$$

Contoh soal 2

Sebuah dump truck dengan berat total 15 ton dan mampu beroperasi pada travelling speed maximum $100 \frac{Km}{jam}$

Bila koefisiensi gesek maksimum $o,71 \cdot (1 - 0,02.V)$, di mana V adalah kecepatan (m/det)

maka :

Tentukan konsumsi bahan bakarnya.

Penyelesaian :

kecepatan : $V = \frac{100.000}{3600} = 27,8$ m/det, maka $\mu = 0,4$

Gaya Friksi roda : $F = 0,4 \cdot 15.000$ Kg

$F = 6000$ Kg.

maka :

Power Balance :

$$m. \left(\frac{Kg}{jam}\right). L \left(\frac{Kcal}{Kg}\right). \eta_{ov} = \frac{P(Kg). V \left(\frac{Kg}{det}\right)}{75 \left(\frac{Kg}{det.HP}\right)} \cdot 632 \left(\frac{Kcal}{HP. jam}\right)$$

Bila $\eta_{ov} = 0,4$, $L = 10.000 \frac{Kcal}{Kg}$

maka :

$$m = \frac{1}{10.000} \cdot \frac{1}{0,4} \cdot \frac{6000 \cdot 27,8}{75} \cdot 632$$

$$= 351,4 \ \frac{Kg}{jam}$$

Contoh soal 3 :

Sebuah diesel untuk electric power station dengan daya terpasang 2000 watt.

Perkirakan : Konsumsi bahan bakarnya.

penyelesaian ;

Dengan menganggap overall efficientcy diesel 0,4, maka :

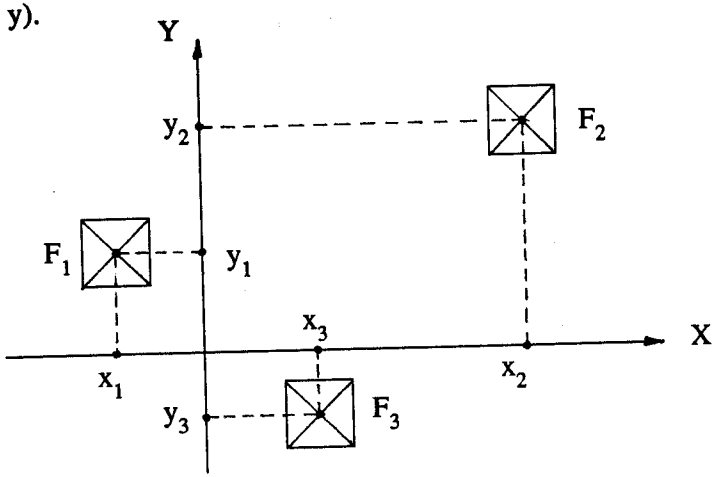
$$m = \frac{1}{0,4} \cdot \frac{1}{10.000} \cdot \frac{1}{746} \cdot 632 \cdot 2000$$

$$= 0,424 \left(\frac{Kg}{jam}\right) = 0,53 \left(\frac{liter}{jam}\right)$$

1.7. TITIK BERAT SISTEM

Titik berat sistem adalah suatu titik yang mewakili sekian jumlah titik di seluruh luasan maupun sistem berat massa, atau dengan kata lain bahwa titik berat adalah suatu titik yang apabila titik ini dipakai sebagai titik tumpu maka sistem berada dalam kondisi setimbang.

Diberikan gambaran koordinat titik berat masing-masing luasan dari sistem luasan (dalam dua macam salib sumbu x dan sumbu y).



di mana F_1, F_2, F_3, ..., F_n adalah masing-masing luasan.

x_1, x_2, x_3, ..., x_n adalah absis atau letak masing-masing luasan dihitung pada sumbu x.

y_1, y_2, y_3..... y_n adalah ordinat atau letak masing-masing luasan dihitung pada sumbu y

Ambil saja misalnya letak titik berat sistem luasan tadi adalah di C (x_c, y_c), kemudian kita tinjau momen kesetimbangan statisnya terhadap masing-masing sumbu dari salib sumbu cartesian.

Kita tinjau terhadap sumbu y.

$$F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + \ldots + F_n \cdot x_n = (F_1 + F_2 + \ldots F_n) \cdot x_c$$

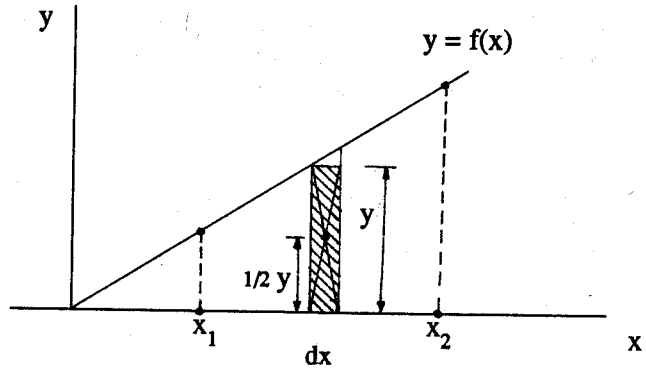
Kita tinjau terhadap sumbu x.

$$F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + \ldots + F_n \cdot y_n = (F_1 + F_2 + \ldots F_n) \cdot y_c$$

Sehingga dengan demikian didapat koordinat titik C (x_c, y_c) adalah:

$$C\left(x_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i} \;,\; y_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} F_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{n} F_i} \right)$$

Dari formulasi di atas dapat dikembangkan perumusan titik berat dari suatu luasan yang mengikuti kurva matematik.



Momen kesetimbangan statis terhadap sumbu y

$$x_c \int_{x_1}^{x_2} y \,.\, dx = \int_{x_1}^{x_2} x \,.\, y dx$$

Momen kesetimbangan statis terhadap sumbu x

$$y_c \cdot \int_{x_1}^{x_2} y \,.\, dx = \int_{x_1}^{x_2} \tfrac{1}{2} \,.\, y \,.\, y \,.\, dx$$

Sehingga titik berat luasan :

$$C\left(x_c = \frac{\int_{x_1}^{x_2} x.y.dx}{\int_{x_1}^{x_2} y.dx},\ y_c = \frac{\frac{1}{2}\int_{x_1}^{x_2} y^2.dx}{\int_{x_1}^{x_2} y.dx}\right)$$

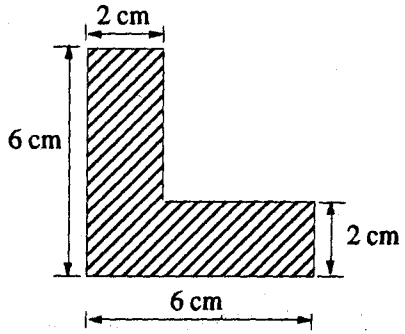
Dengan cara yang sama, titik berat massa benda dapat dicari dengan mengganti F menjadi m.

Dan mengingat bahwa di dalam pembicaraan tentang massa kita dibatasi oleh salib sumbu x, y dan z, sehingga koordinat massa benda adalah c (x_c, y_c, z_c)

di mana

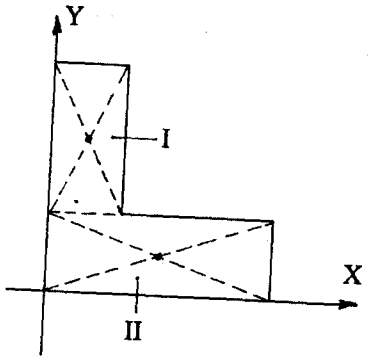
$$z_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i.z_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}$$

Berikut akan dicoba suatu penyajian contoh soal untuk mencari titik berat dari profil L



Penyelesaian.

Untuk memudahkan cara pengerjaan maka dibuat salib sumbu pertolongan x – y seperti gambar berikut dan luasannya dipecah menjadi dua bagian.



$$x_c = \frac{F_1.x_1 + F_2.x_2}{F_1 + F_2}$$

$$y_c = \frac{F_1.y_1 + F_2.y_2}{F_1 + F_2}$$

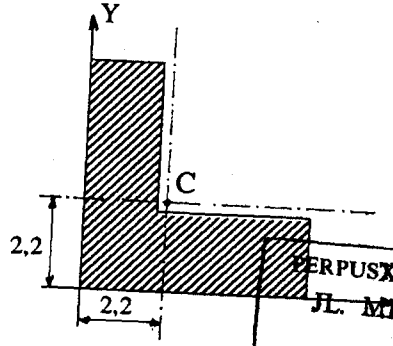
$F_1 = 4.2 = 8\ cm^2$, $x_1 = 1/2\ .\ 2 = 1$ cm, $y_1 = 2 + 2 = 4$ cm

$F_2 = 2.6 = 12\ cm^2$, $x_2 = 1/2\ .\ 6 = 3$ cm, $y_2 = 1/2\ .\ 2 = 1$ cm

$$x_c = \frac{8.1 + 12.3}{8 + 12} = 2{,}2 \text{ cm}$$

$$y_c = \frac{8.4 + 12.1}{8 + 12} = 2{,}2 \text{ cm}$$

Sehingga koordinat titik berat C bisa digambarkan sebagai berikut:



PERPUSTAKAAN DAERAH JAWA TIMUR
JL. MENUR PUMPUNGAN No. 32
S U R A B A Y A
TAHUN ANGGARAN 1996 / 1997

1.8. MOMEN INERTIA

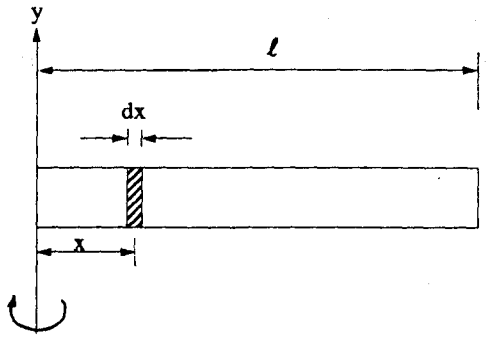
Penerapan dari momen inertia terutama dalam hal menghitung torsi atau gaya luar yang dibutuhkan untuk menggerakkan berat mekanisme itu sendiri.

Pengertian momen inertia adalah massa dikalikan jarak kuadrat titik berat massa ke titik putar dan bila ditulis dalam bentuk umum :

$$\boxed{I_i = \int r^2 . \, dm \, .} \quad (kg.m.det^2)$$

di mana r adalah jarak, m adalah massa benda.

Berikut ini dicoba dihitung momen inertia dari sebuah batang dengan panjang l dihitung terhadap sumbu putar yang terletak di ujung batang tersebut.



Momen inertia terhadap sumbu putar y adalah $I_i = \int_o^{\ell} x^2 . \, dm$

Differential dari masa dm = ρ . A . dx, di mana A adalah luasan penampang potongan batang (m^2), ρ adalah rapat massa

$$\left(\frac{Kg.det^2}{m^4} \right).$$

Terdapat hubungan antara berat jenis terhadap rapat massa seperti ditulis :

$$\gamma \left(\frac{Kg}{m^3}\right) = \rho \left(\frac{Kg.det^2}{m^4} \right) . \, g \left(\frac{m}{det^2}\right)$$

Sehingga : $I_i = \int_o^{\ell} x^2 . \, \rho.A. \, dx$

$$= \frac{1}{3} . \rho . A . x^3 \Big|_o^{\ell}$$

$$= \frac{1}{3} . \rho . A . l . \ell^2$$

$$I_i = \frac{1}{3} . m . \ell^2.$$

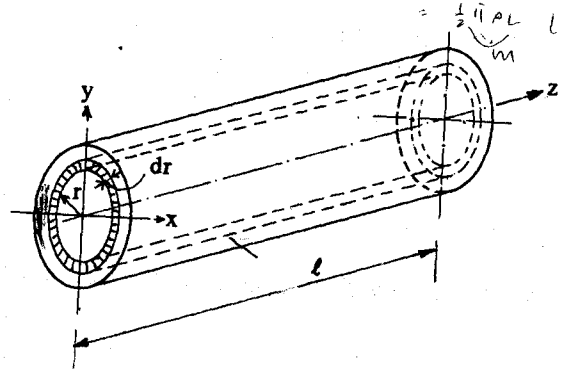
Dengan cara yang sama, maka momen inertia batang dengan panjang ℓ terhadap sumbu putar yang terletak persis membagi dua panjang ℓ tersebut (di tengah-tengah) adalah :

$$I_i = \int_{-\ell/2}^{+\ell/2} x^2 . \, \rho .A. \, dx = \frac{1}{12} . m . \ell^2$$

Sedangkan momen inertia suatu silinder terhadap sumbunya dapat dicari dengan mengambil elemen massa dm = 2π. r . dr. ℓ. ρ .

$$I_i = I_z = \int_{r_1}^{r_2} r^2 . \, dm = \int_{r_1}^{r_2} r^2 . \, 2\pi . r . dr . \ell . \rho .$$

$$= 2\pi . \rho . \ell \int_{r_1}^{r_2} r^3 . \, dr = 2\pi \rho . \ell . 1/4 . r^4 \Big|_{r_1}^{r_2}$$



Sehingga untuk silinder berlobang, maka

$$I_{in} = \frac{1}{2} m (R_2^2 - R_1^2),$$ di mana R_2

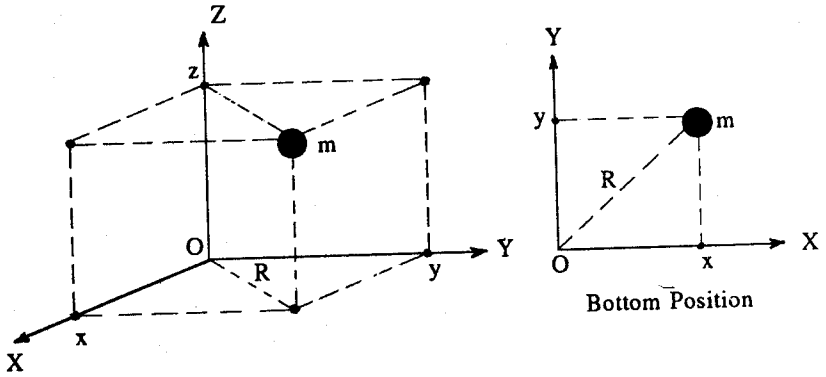
adalah jari-jari luar dan R_1 adalah jari-jari dalam untuk silinder pejal (tidak berlobang),

maka :

$$I_{in} = \frac{1}{2} . m . R^2$$

untuk selanjutnya kita akan mempelajari momen inertia dalam tiga dimensi yaitu sumbu x, sumbu y dan sumbu z. Kita tinjau sistem massa seperti gambar berikut.

massa m terletak pada titik C (x, y, z)



maka momen inertia terhadap sumbu X adalah $I_x = m . y^2$, sedangkan momen inertia terhadap sumbu y adalah $I_y = m . x^2$. Sementara menurut dalil Pytagoras didapat bahwa $x^2 + y^2 = R^2$, sehingga

$$I_x + I_y = m (x^2 + y^2) = . R^2.$$

Kita lihat pada bottom position didapat hubungan momen inertia polar :

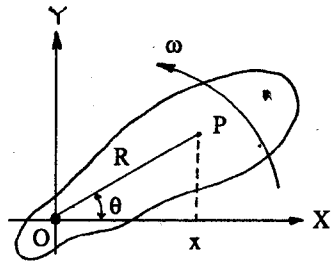
$$I_p = I_o = I_z = I_x + I_y$$

1.9. GERAKAN BERPUTAR

Gerakan berputar atau disebut rotasi ada dua macam yaitu pertama apa yang disebut rotasi dengan sumbu tetap dan yang kedua yaitu apa yang disebut rotasi sumbu bergerak. Di dalam bangunan mesin apa yang disebut dengan rotasi sumbu tetap didapat pada mesin-mesin konstruksi, mesin-mesin fluida serta engine yang stationaire, sedangkan yang termasuk rotasi sumbu bergerak didapati pada mesin-mesin fluida serta jenis mesin dan engine yang dipakai untuk melarikan pesawat terbang, mobil, kapal laut, kereta api dan movable body yang lain.

Di sini pada langkah pertama kita akan membicarakan apa yang disebut rotasi dengan sumbu tetap.

Berikut akan ditinjau rotasi dari suatu titik P di mana p tadi terdapat pada benda yang diberi simpangan sudut θ.



Karena ada simpangan sudut, maka ini berarti bahwa titik P bergeser atau berpindah posisi. Karena ada perpindahan posisi, maka berarti pula ada kecepatan.

Kecepatan sudut rata-ratanya dalam hal ini adalah :

$$\omega = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$$

Dengan penurunan yang hampir sama dengan gerakan translasi (lurus), maka dicari pula percepatan sudut rata-ratanya :

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$$

$$= \frac{d^2\theta}{dt^2} \cdot \left(\frac{rad}{det^2}\right)$$

Dan apabila persoalannya dibalik yaitu :

$d\omega = \alpha . dt$, kemudian masing-masing ruas diintegralkan maka didapat.

$\int d\omega = \int \alpha . dt$, maka $\omega = \alpha . t + c_1$

Bila pada kondisi awal yaitu $t = 0$, $\omega = \omega_0$

maka : $\omega = \omega_0 + \alpha . t$.

Dengan demikian maka sudut yang dicapai dapat dicari dari :

$$\int d\theta = \int \omega . dt = \int (\omega_0 + \alpha . t) . dt$$

$$\theta = \omega_0 . t + 1/2 . \alpha . t^2$$

Setelah kita dapatkan bangun perumusan terakhir tentang besarnya sudut yang dicapai θ maka ternyata bahwa bangun perumusan ini mempunyai kemiripan dengan jarak yang dicapai pada gerakan translasi di mana x diganti dengan θ dan a diganti dengan α.

Sekarang kita mencoba untuk mengikuti jarak atau dalam hal ini amplitudo x yang selalu berubah seperti halnya perubahan sudut θ. Dari gambar di atas didapatkan hubungan :

$$x = \overline{OP} . \cos\theta = R . \cos\theta \text{ ; dan } \theta = \omega . t$$

dengan demikian maka $x = R . \cos \omega t$.

Pendifferentialan dari persamaan terakhir ini terhadap t didapat :

$\frac{dx}{dt} = - R.\omega \sin \omega t$, maka bila kita differentialkan sekali lagi terhadap t didapat :

$$\frac{d^2x}{dt^2} = - R.\omega^2 . \cos \omega t \text{ atau}$$

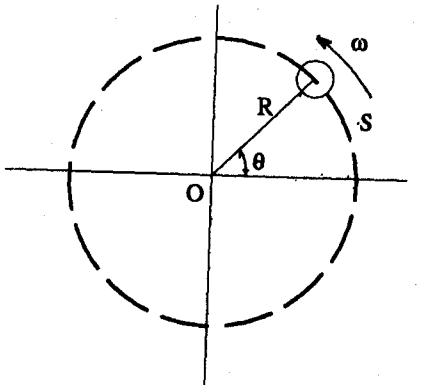
$$\frac{d^2x}{dt^2} . \frac{1}{R} = -\omega^2 . \cos \omega t$$

Sehingga percepatan sudut maksimum adalah

$$\boxed{\alpha_{max} = \omega^2} \quad \left(\frac{rad}{det^2}\right)$$

Sementara bila kita tinjau hubungan-hubungan yang lain khususnya dalam hubungan dengan translasi. Dengan pertolongan gambar berikut didapat bahwa jarak yang dicapai berupa panjang busur dari massa yang diputar :

$S = R . \theta$;



di mana S adalah panjang busur, R adalah jari-jari tali pengikat massa, dan θ adalah sudut yang dibentuk.

Apabila persamaan terakhir ini diturunkan maka didapat :

$$\frac{ds}{dt} = \frac{d(R.\theta)}{dt} = R \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

Sedangkan kecepatan liniernya :

$V = \omega.R$, demikian maka

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d(\omega.R)}{dt} = R. \frac{d\omega}{dt}$$

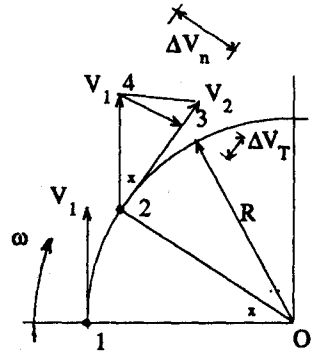
Dari sini percepatan tangensialnya adalah :

$$a_T = \frac{dV}{dt} = R \cdot \frac{d\omega}{dt} = R. \alpha \qquad (m/det^2).$$

Sedangkan kalau kita tinjau posisi yang berubah dari titik 1 ke 2 didapat bahwa :

percepatan $= \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ dan percepatan normal

$$a_n = \frac{\Delta V_n}{\Delta t}$$



Bila kita buat kedudukan titik 2 sedekat mungkin titik 1, maka $\Delta \overline{1O2}$ = bentuk Δ O12 (karena busur $\overline{12}$ = tali busur $1\bar{2}$; dengan demikian maka sudut 2 = sudut O (tanda x).

Bila titik 1 mendekati 2, maka $\Delta \overline{1O2} = \Delta \overline{234}$ sehingga harga mutlak dari :

$$\left| V_1 \right| = \left| V_2 \right|$$

Sedangkan segitiga-segitiga sama kaki tersebut mempunyai sudut

alas 90°, dengan demikian maka bisa berarti pula bahwa :

$$\frac{\Delta V_n}{V_1} = \frac{\Delta S}{R}$$, di mana ΔS adalah busur $\overline{12}$

Sehingga :

$$\Delta V_n = \frac{\Delta S}{R}. V_1$$

Adapun percepatan normal dicari dari pendifferentialan ΔV_n terhadap Δt, bila ditulis :

$$a_n = \frac{\Delta V_n}{\Delta t} = \frac{V_1}{R} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t}$$, sehingga

Percepatan sesaat adalah :

$$a_n = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta V_1}{R} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{V_1}{R} \cdot \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$= \frac{V_1}{R} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{V_1^2}{R} \Big|_{V_1 = V}$$

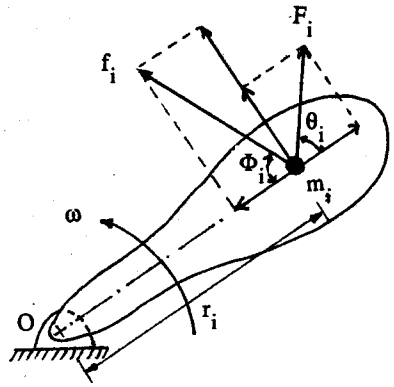
Jadi percepatan normal atau disebut pula percepatan radial adalah:

$$a_n = \frac{V^2}{R} = \frac{(\omega \cdot R)^2}{R} = \omega^2 \cdot R.$$

Bila kita tinjau benda yang bergerak berputar dengan mempertimbangkan gaya antar partikel ditunjukkan gambar berikut :

Partikel dengan massa m_i dan mempunyai jarak r_i (terhadap titik putar dihitung dari pusat

berat massanya) dipengaruhi oleh gaya luar F_i dan gaya antar partikel F_i.



Dari adanya gaya-gaya ini maka penjumlahan gayanya sama dengan nol dan bila ditulis dalam bahasa matematik:

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$F_i \cdot \cos\theta_i - f_i \cdot \cos\phi_i = m_i \cdot a_R, \text{ dan}$$

$$F_i \cdot \sin\theta_i + f_i \cdot \sin\phi_i = m_i \cdot a_T.$$

Dalam pembicaraan ini kita hanya meninjau yang terakhir dan bila ditulis dalam bahasa matematik :

$$\sum F_i \cdot \sin\theta_i = \sum m_i \cdot r_i \cdot \alpha$$

Bila kedua ruas dari persamaan terakhir ini dikalikan r_i maka terjadilah perumusan momen putar atau torsi atau torque dan ditulis:

$$T = \sum F_i \cdot r_i \cdot \sin\theta_i = \sum m_i \cdot r_i^2 \cdot \alpha$$

$$= \alpha \cdot \sum m_i \cdot r_i^2$$

Sehingga bisa ditulis :

$$\boxed{T = I_i \cdot \alpha} \qquad \text{(Kg.m).}$$

Sejenak kalau kita ingat pada gerakan lurus bahwa sebuah partikel yang massanya m_i dan mempunyai kecepatan V_i, adalah mempunyai energi kinetis linier $E_K = \frac{1}{2} \cdot m_i \cdot V_i^2$; maka dengan cara yang sama gerak rotasi akan mempunyai energi kinetic rotasi :

$$\tfrac{1}{2} \cdot m_i (\omega \cdot r_i)^2 = \tfrac{1}{2} \cdot \omega^2 \cdot m_i \cdot r_i^2$$

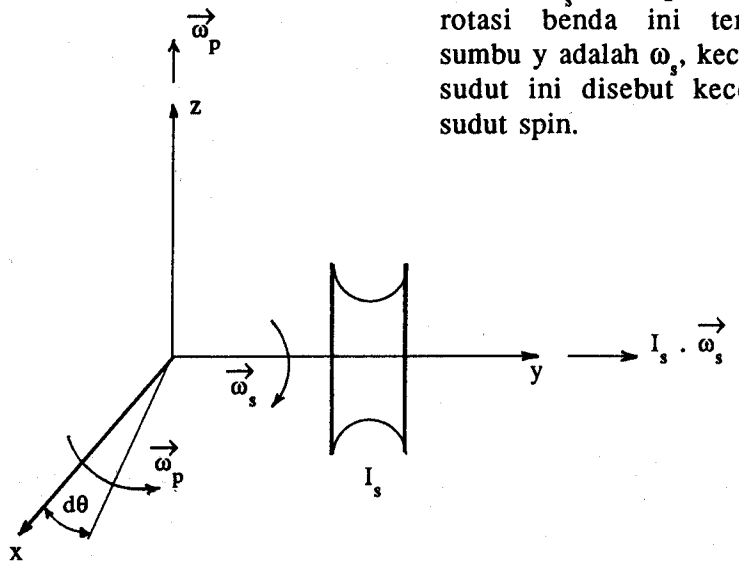
Jadi energi kinetis rotasi adalah :

$$E_K = \tfrac{1}{2} \cdot I_i \cdot \omega^2 \quad \text{(Kg.m)}$$

Hal ini berarti bahwa hukum kekekalan energi berlaku pada setiap gerakan apa pun jenisnya.
Apa yang telah kita pelajari di atas disebut rotasi dengan sumbu tetap. Langkah berikutnya adalah bagaimana persoalannya kalau rotasi dengan sumbu bergerak.
Di atas telah disebutkan bahwa torque :

$$\vec{T} = I_i \cdot \vec{\alpha} = I_i \cdot \ddot{\theta}$$

Katakan saja misalnya kita mempunyai benda yang berputar pada sumbu y. Benda ini mempunyai momen inertia terhadap sumbu y sebesar I_s. Kecepatan sudut rotasi benda ini terhadap sumbu y adalah ω_s, kecepatan sudut ini disebut kecepatan sudut spin.



Dari perumusan di atas :

$$T = I \cdot \vec{\alpha}$$

$$= I \cdot \frac{d\vec{\omega}_s}{dt} = \frac{d}{dt} (I_s \cdot \vec{\omega}_s)$$

Sedangkan $I_s \cdot \vec{\omega}_s = \vec{L}$ adalah momentum sudut, maka :

$$T = \frac{dL}{dt} \quad \text{atau } dL = T \cdot dt$$

sudut $d\theta$ yang dicapai oleh vektor L dalam waktu dt adalah :

$$d\theta = \frac{dL}{\lambda}$$

Kecepatan sudut precision adalah

$$\vec{\omega}_p = \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{L} \cdot \frac{dL}{dt}$$

Sehingga : $\vec{\omega}_p = \frac{\vec{T}}{\vec{L}}$

atau $\vec{\omega}_p = \frac{\vec{T}}{I_s \cdot \vec{\omega}_s}$

jadi torque karena effect gyroscopic (torsi karena sumbu bergerak) adalah :

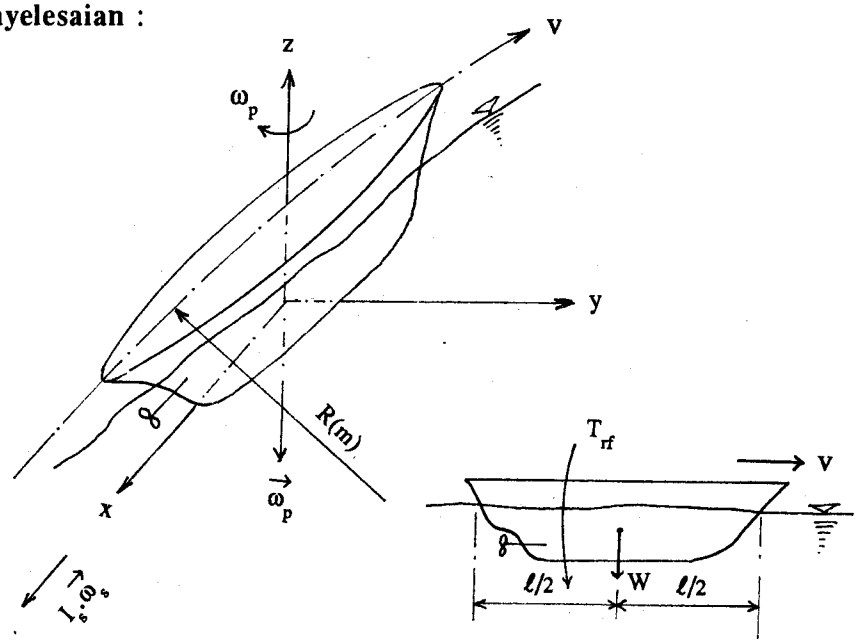
$$\boxed{\vec{T}_{rp} = I_s \cdot \vec{\omega}_s \times \vec{\omega}_p} \quad \text{(Kg.m)}$$

di mana I_s adalah momen inertia spin ($Kg.m.det^2$), $\vec{\omega}_s$ adalah kecepatan sudut spin ($\frac{rad}{det}$), dan $\vec{\omega}_p$ adalah kecepatan sudut precision ($\frac{rad}{det}$).

Contoh Persoalan 1.

Sebuah kapal bergerak dengan kecepatan V ($\frac{m}{det}$) dan tiba-tiba menikung ke kanan dengan radius tikungan R (m).
Kapal ini menggunakan propeller dengan momen inertianya sebesar I_s ($Kg.\ m.det^2$).
Bila panjang kapal adalah ℓ (m) dihitung pada garis air dan dianggap titik beratnya tepat di tengah-tengahnya, sementara putaran propeller adalah searah jarum jam dilihat dari depan dengan kecepatan putar n (Rpm).
Ditanya : Berapa penambahan gaya yang terjadi akibat penikungan ini pada sisi belakang dan depan serta gambarkan analisanya.

Penyelesaian :



Kecepatan sudut spin adalah kecepatan sudut propeller ;

$$\vec{\omega}_s = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad \text{(rad/det).}$$

Momentum sudutnya :

$\vec{L} = \vec{I_s} \cdot \vec{\omega_s}$ (Vektornya ke arah sumbu x).

Kecepatan sudut precision :

$\vec{\omega_p} = \frac{V(\frac{m}{det})}{R\,(m)}$ (Vektornya ke arah sumbu z negatif).

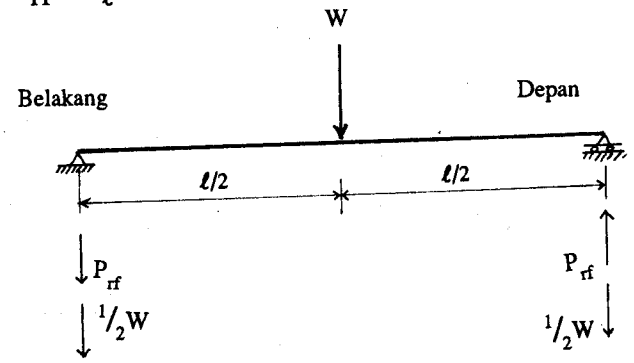
Torque gyroscopic :

$$T_{rf} = I_s \cdot \vec{\omega_s} \times \vec{\omega_p}$$

$$= I_s \left(\frac{\pi \cdot n}{30}\right) \times \left(\frac{V}{R}\right). \text{ (Kg.m).}$$

Gaya karena gyro :

$$P_{rf} = \frac{T_{rf}}{\ell}$$



Beban total di bagian belakang adalah

$= \frac{1}{2} W + P_{rf}$, sedang di bagian depan $= \frac{1}{2} W - P_{rf}$

Ini berarti bagian depan terangkat dan belakang tertekan ke bawah air.

MEKANIKA FLUIDA

2

2.0. PENGENALAN

Mekanika Fluida adalah ilmu mekanika dari zat cair dan gas yang didasarkan pada prinsip yang sama dengan prinsip yang dipakai pada zat padat. Secara umum pengertian pokok mekanika fluida dibagi 3 cabang yaitu : fluida statis (hydrostatic), fluida kinematis dan fluida dinamis (hydrodynamis).

Di dalam fluida statis yang kita pelajari adalah mekanika fluida tentang gas/zat cair pada keadaan tetap, artinya suatu zat cair/gas yang pada permukaannya dengan tekanan tetap, akan tetapi hanya berbeda ketinggiannya. Fluida kinematis yang kita pelajari adalah mekanika kinematis dari gas/zat cair artinya zat cair/gas oleh karena gerakan dan kecepatannya.

Sedangkan pada fluida dinamis yang kita pelajari adalah mekanika fluida dinamis tentang gas/zat cair oleh karena gaya-gaya yang disebabkannya.

Pada zat cair bila diberikan gaya luar perubahannya sangat kecil, maka hal ini dikatakan bahwa zat cair tidak bisa ditekan volumenya (incompressible).

Berbeda sekali sifat tadi bila dibandingkan dengan gas pada zat gas volumenya sangatlah tergantung perubahannya kepada tekanan dan temperatur, di mana gas volumenya mudah berubah

sehingga dapat kita katakan bahwa zat gas mudah ditekan volumenya (compressible).

Dua macam zat tersebut di atas baik yang bisa ditekan ataupun yang tidak, kedua-duanya dipakai dalam proses kerja mesin-mesin fluida.

Zat yang incompressible dipakai pada pompa, turbine air, turbin oil, kapal; sedang zat yang compressible dipakai pada blower, kompressor, pesawat terbang, turbine gas, mesin jet, combustion engine.

Memang dalam pengklasifikasian yang ada sekarang seolah-olah mesin jet, pesawat terbang, turbine gas, combustion engine dan kapal adalah merupakan disiplin ilmu tersendiri; akan tetapi perlu diingat bahwa ia bisa beroperasi oleh karena tenaga fluida.

Oleh karena itu kiranya tidak terlalu berlebihan apabila di dalam buku ini dibahas sedikit tentang mekanika fluida dan kita juga tidak menyimpang terlalu jauh apabila pompa, turbine air, turbine oil, kapal, blower kompressor, pesawat terbang, turbine gas, mesin jet, combustion engine disebut mesin fluida bila dilihat dari sisi yang sama yaitu bahwa prinsip kerjanya menggunakan fluida sebagai power.

Akan tetapi apabila dilihat dari sudut transformasi energi memang pandangan di atas adalah salah. Dalam buku ini kita tidak mempunyai maksud untuk mempertentangkan antara benar dan salah yang mempunyai implikasi sempit. Akan tetapi kesengajaan dalam buku ini adalah bahwa dari semua jenis mesin/pesawat yang seperti disebutkan di atas di mana berasal dari satu titik awal yaitu bahwa di dalam merumuskan tenaga mesin maka paling tidak unsur fluida pasti masuk di dalamnya.

2.1. FLUIDA STATIS

Pada prinsipnya tekanan pada suatu garis lurus yang diukur dari suatu titik tertentu yang sejajar dengan garis permukaan air

laut mempunyai ukuran besar tekanan yang sama.

Sedangkan tekanan pada permukaan air laut dipakai ukuran tekanan nol ata atau 1 ato. Di mana ata adalah singkatan dari atmosfir alam dan ato adalah atmosfir absolut

Sedangkan satuan tekanan dinyatakan dalam Kg/cm^2 atau atm (atmosfir), sehingga :

$$1 \text{ atm} = 0 \text{ ata} = 1 \text{ ato} = 1 \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)_{absolut} = 0 \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)_{gauge}.$$

Gauge adalah ukuran tekanan yang ditunjukkan oleh dial indikator pada pesawat/alat ukur tekanan.

Sedang satuan mengenai tekanan yang lain misalnya at. Satuan at ini mempunyai maksud yang sama dengan ata di atas. Dan satuan tekanan yang lain lagi adalah m.k.a. (meter kolom air), di mana 1 m.k.a $\approx 0{,}1 \frac{Kg}{cm^2}$.

Kita anggap bahwa kolom vertical suatu fluida yang berluas penampang sebesar S (cm^2), beda ketinggiannya sebesar z (cm) dari permukaan bidang dasar kolom yang mempunyai tekanan sebesar p ($\frac{Kg}{cm^2}$), sedang rapat masa (density) nya adalah ρ ($\frac{Kg.det^2}{cm^4}$).

Karena zat cair di dalam kondisi diam (static), maka penjumlahan (sigma) gaya yang bekerja pada volume zat cair dz dan berpenampang s cm^2 adalah nol.

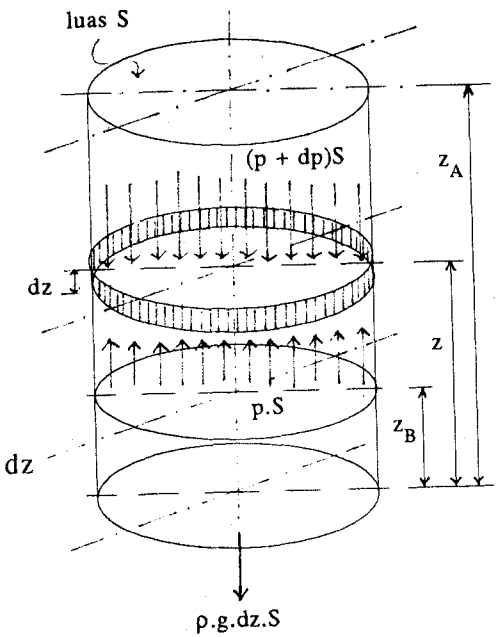
Sedang menurut hukum kedua Newton $\Sigma F = m.a$.

Sehingga :

$$\Sigma F = m.a = 0$$

Terlihat bahwa di sini terdapat 3 gaya ke arah vertikal, yaitu dari tekanan p yang bekerja ke atas sebesar p ($\frac{Kg}{cm^2}$). S (cm^2), gaya dari tekanan (p + dp) yang bekerja ke arah bawah sebesar

$(p + dp)\ (\frac{Kg}{cm^2})$. S ($cm^2$), dan gaya berat sendiri dari fluida karena percepatan gravitasi bumi yang bekerja ke bawah sebesar.



$\rho\ (\frac{Kg.det^2}{cm^4})$. g $(\frac{cm}{det^2})$ dz (cm) . S (cm^2).

Karena $\Sigma F = m \cdot a = 0$, maka :

$\Sigma F = - p.S + (p + dp)\ S + \rho \cdot g \cdot dz \cdot S = 0$

$dp + \rho \cdot g \cdot dz = 0$ atau

$\frac{dp}{\rho} + g \cdot dz = 0$

dan bila diintegralkan didapat :

$$\int \frac{dp}{\rho} + \int g.dz = 0$$

maka : $\frac{p}{\rho} + g.z = C$

Persamaan terakhir ini dikenal dengan persamaan berdasarkan keadaan keseimbangan hydrostatic.

Untuk kolom fluida setinggi z_A dan z_B dengan tekanan p_A dan p_B, sehingga rumus tersebut dapat ditulis sebagai :

$$\frac{p_A}{\rho} + g \cdot z_A = \frac{p_B}{\rho} + g \cdot z_B \quad \text{atau}$$

$(z_A - z_B) \cdot \rho \cdot g = (p_B - p_A)$, di mana $p_B > p_A$

dan $\rho\ (\frac{Kg.det^2}{cm^4})$. g $(\frac{cm}{det^2}) = \gamma\ (\frac{Kg}{cm^3})$

sehingga persamaan tadi bisa ditulis :

$(z_A - z_B)\ \gamma = (p_B - p_A)$ atau

$$\boxed{\frac{p_A - p_B}{\gamma} = (z_A - z_B)}$$

, di mana γ adalah berat jenis fluida.

Contoh Soal 1.

Suatu jenis ikan laut mampu bertahan hidup pada kedalaman h = 1000 meter.

Bila berat jenis air laut $\gamma = 1{,}03\ \frac{Kg}{dm^3}$

Coba analisa berapa tekanan minimal yang harus diderita oleh tubuhnya dalam kondisi statis, serta berikan kesimpulan dari keadaan tadi.

Penyelesaian :

Tekanan hydrostatic air laut :

$$p = \gamma\ (\frac{Kg}{m^3})\ .\ h\ (m)$$
$$= 1030\ .\ 1000 = 103\ .\ 10^4\ Kg/m^2$$
$$= 103\ .\ Kg/cm^2$$

jadi tekanan yang diderita adalah

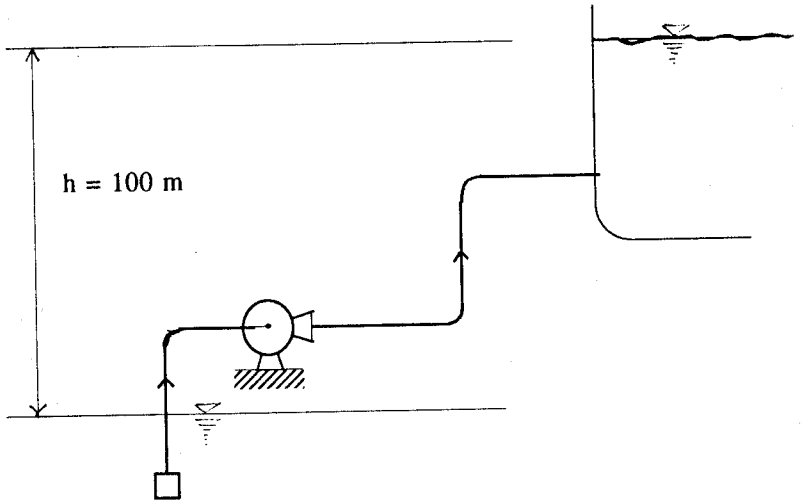
$$p = 103\ (\frac{Kg}{cm^2})_{gauge}$$

Dari contoh soal ini dapat ditarik hipotesis bahwa ada hubungan antara daya tahan ikan terhadap kedalaman di mana ia bertahan hidup. Ini berarti bahwa semakin dalam ia bertahan hidup maka ia termasuk kategori ikan yang kuat fisiknya.

Contoh Soal 2.

Sebuah pompa yang dipakai untuk memindahkan air dari ketinggian 0,000 m hingga ketinggian 100 m.

Ditanya : berapa tekanan yang harus dilawan oleh pompa dalam hubungan ini ?



Tekanan yang harus dilawan oleh pompa adalah tekanan karena beda ketinggian air.

$$p = \gamma \left(\frac{Kg}{m^3}\right) . h\ (m)$$

$$= 1 . 10^3 . 100 = 10 . 10^4\ Kg/m^2$$

$$= 10\ (Kg/cm^2)_{gauge}$$

jadi tekanan perlawanan pompa adalah

$$p = 10\ ata.$$

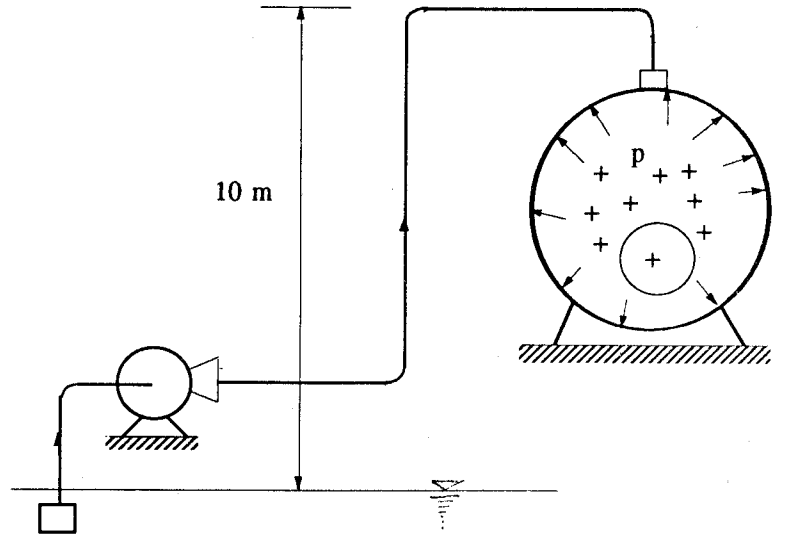
Contoh Soal 3.

Sebuah pompa pengisi ketel uap dengan data-data sebagai berikut:

- Tekanan kerja ketel uap = 10 Kg/cm^2
- Posisi ketel diukur vertikal dari permukaan air yang dipindahkan ke ketel adalah 10 m.

Ditanya : Tekanan yang harus dilawan oleh pompa dalam hubungan ini.

Penyelesaian :



Tekanan yang harus diatasi oleh pompa ini adalah

$$p = p_{ketel} + p_{static}$$

$$= 10 . \frac{Kg}{cm^2} + 0,1 \frac{Kg}{cm^2}\ ;\ \text{ingat } 10\ \text{m.k.a} = 1 \frac{Kg}{cm^2}$$

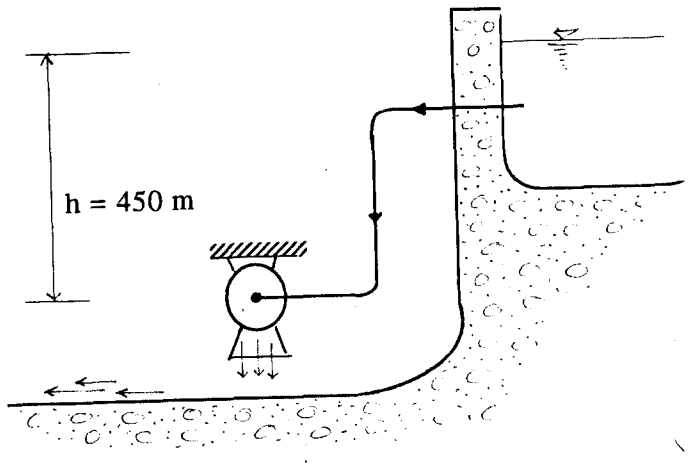
$$p = 10,1\ (Kg/cm^2)_{gauge}$$

Contoh soal 4 :

Suatu danau dengan terjunan air setinggi 450 m akan dimanfaatkan sebagai pusat pembangkit tenaga listrik dengan air terjun sebagai media penggeraknya.

Ditanya tekanan yang diderita oleh turbine air.

Penyelesaian :



Tekanan yang diderita oleh turbine :

$$p = \gamma \left(\frac{Kg}{m^3}\right) . h\ (m)$$

$$= 10^3 \left(\frac{Kg}{m^3}\right) . 450\ (m)$$

$$= 45.10^4 \quad \frac{Kg}{m^2}$$

$$p = 45 \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)_{gauge}$$

2.2. SIFAT-SIFAT FISIS FLUIDA

Beberapa sifat fisis fluida yang perlu untuk dibicarakan di sini di antaranya adalah compressibility yaitu sifat dapat ditekan, gaya tegangan, viscositas atau kekentalan dan evaporability atau sifat mampu menguap. Adapun maksud serta relevansinya dalam ilmu teknik diuraikan sebagai berikut :

Compressibility

Compressibility adalah sifat mampu fluida untuk berubah volumenya di bawah suatu tekanan.

Perubahan relatif dari volume tiap satuan tekanan ditentukan dengan koeffisient yang disebut keoffisient kompressibilitas.

$$B_p = -\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dp} \left(\frac{cm^2}{Kg}\right) ;$$

tanda (–) menunjukkan bahwa penambahan tekanan positif dalam kenyataannya menyebabkan penambahan volume negatif.
Dan sebagai kebalikan dari koeffisient kompressibilitas disebut bulk moduls.

$$K = \frac{1}{B_p} = -\frac{V}{dV} . dp,$$ atau bila volumenya dinyatakan dalam kerapatan massa

$$K = \rho \ . \frac{dp}{d\rho} \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$$

Balk modulus ini kurang sebegitu perlu untuk dibicarakan terlalu jauh di sini.

Expansi panas

Expansi panas adalah sifat di mana perubahan relatif dari volume bila temperatur naik 1°C.

$$\beta_t = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dt}$$

Expansi panas ini kurang sebegitu penting untuk dibicarakan terlau jauh di sini.

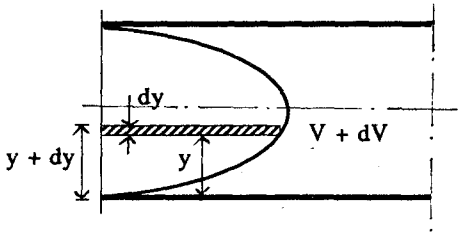
Gaya Tegang (Tensile Strength)

Gaya tegang dari zat cair boleh dikatakan tidak ada, ini disebabkan karena besarnya tegangan amat kecil ± 0.00036 $\frac{Kg}{cm^2}$ (untuk air) dan bertambah kecil dengan bertambah tingginya temperatur.
Gaya tegang ini kurang penting untuk dibicarakan terlalu jauh.

Viscositas (Kekentalan)

Viscositas adalah kemampuan zat cair untuk menahan geseran atau peluncuran dari tempatnya.

Ini menunjukkan dalam kenyataanya di mana zat cair yang viscous mengalir sepanjang dinding padat, maka kecepatannya akan berkurang bila zat cair makin dekat dengan dinding.



Kita tinjau fluida yang mengalir di dalam suatu pipa : Pada gambar ini terlihat bahwa pada y = 0, maka V = 0.

Menurut Newton besarnya tegangan gesekan karena kekentalan fluida ini adalah :

$$= \mu \cdot \frac{dV}{dy} \left(\frac{Kg}{m^2}\right),$$

di mana μ adalah Viscositas dynamis fluida ($\frac{Kg.det}{m^2}$), dV adalah perubahan kecepatan sebagai akibat dari perubahan dari dy.

Maka untuk luasan yang dilewati fluida sebesar S (m^2) besarnya gaya gesek karena fluida adalah :

$$T = \tau \cdot S = \mu \cdot \frac{dV}{dy} \cdot S$$

atau

$$T\ (Kg) = \mu \left(\frac{Kg.det}{m^2}\right) \cdot \frac{dV\left(\frac{m}{det}\right)}{dy\ (m)} \cdot S\ (m^2)$$

Sehingga untuk fluida yang mengalir di dalam pipa sepanjang 1 (m) dan berjari-jari r (m), maka gaya gesek pada dinding pipa dapat ditulis :

$$T = \mu \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot 1}{r} \cdot V\ (Kg)$$

Dengan membalik persoalannya di mana fluidanya dianggap diam sementara pipanya berjalan, maka perumusan gaya gesekan fluida ini dapat dipakai dalam menghitung gaya gesek antara body kapal terhadap air laut dan dapat pula dipakai untuk menghitung gaya gesek antara body pesawat terbang terhadap udara serta mesin-mesin fluida yang lain seperti pompa dan lain-lainnya. Untuk menghitung gaya gesekan kapal misalnya, rumus tersebut berbentuk :

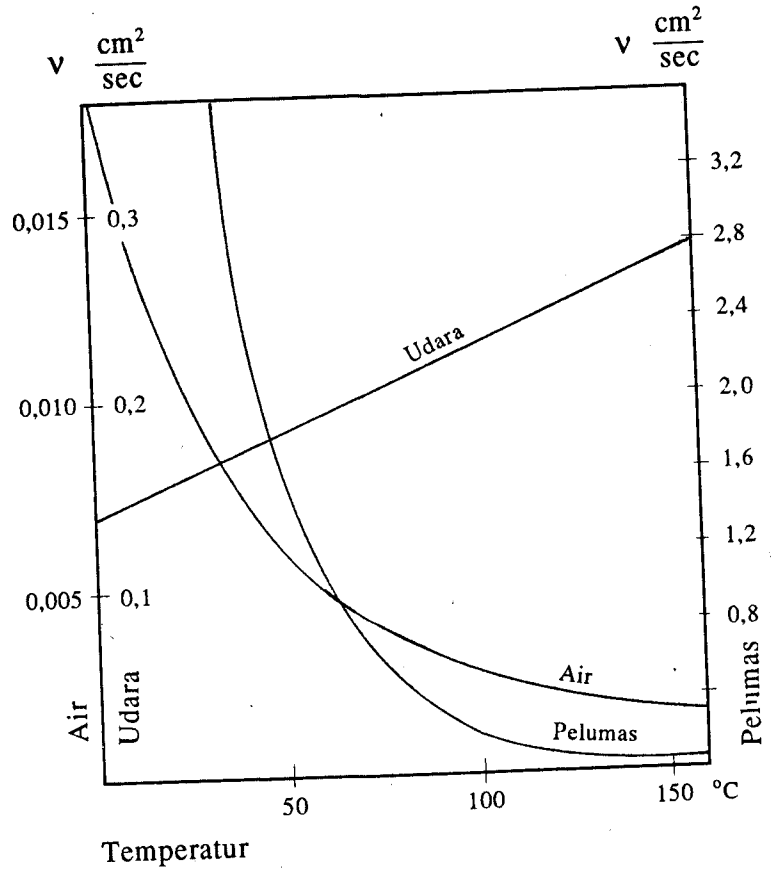
$$T = \mu \cdot \frac{S}{h} \cdot V$$

di mana S adalah luasan lambung kapal yang kontak dengan air (m^2) dan h adalah separuh dari lebar rata-rata kapal dihitung sampai garis air tampak depan atau buritan (m).

Oleh sebab itu Viscositas fludia ini justru yang paling perlu untuk dipelajari di dalam ilmu teknik. Perlu diketahui bahwa viscositas dynamis ini mempunyai hubungan sebagaimana ditulis :

Grafik :
Hubungan antara Viscositas dengan suhu

$$\nu = f(\Delta t\ ^\circ C)$$



$$\mu = \rho \cdot \upsilon$$

$$\mu \left(\frac{Kg.det}{m^2}\right) = \rho = \left(\frac{Kg.det^2}{m^4}\right) \cdot \upsilon \left(\frac{m^2}{det}\right)$$

di mana υ adalah Viscositas kinematis fluida.

Satuan Viscositas kinematis adalah stoke, di mana

$$1 \text{ stoke} = 1\ \frac{cm^2}{det}, \text{ sehingga}$$

$$1\ \frac{m^2}{det} = 10^4 \text{ stoke}$$

Berikut tadi ditunjukkan chart untuk Viscositas kinematis dari fluida.

Dari chart tadi terlihat bahwa Viscositas kinematis fluida cair semakin menurun seirama dengan kenaikan temperatur, sedangkan untuk fluida gas di mana semakin naik seirama dengan kenaikan temperatur. Keadaan yang sama pula tentunya terjadi pada Viscositas dinamis. Untuk minyak hydraulic misalnya di mana dengan index Viscositas dinamis lebih besar maka relatif lebih mampu untuk dibebani pada temperatur tinggi bila dibandingkan dengan yang berindeks di bawahnya.

Evaporability

Evaporability adalah merupakan sifat dari semua zat cair, di mana kemampuannya berbeda-beda tergantung dari keadaan spesifikasi masing-masing fluida.

2.3. ALIRAN FLUIDA

Fluida dalam keadaan mengalir kita dapat meninjau kecepatan dari tiap-tiap titik di dalam zat yang mengalir tersebut, dalam hal ini kita memerlukan beberapa pengertian di antaranya ialah :

Garis aliran

Garis aliran adalah sebuah garis di mana pada tiap-tiap saat garis singgung setiap titik sesuai dengan arah Vektor kecepatan. Ini disebut pula dengan stream line.

Aliran Stationer

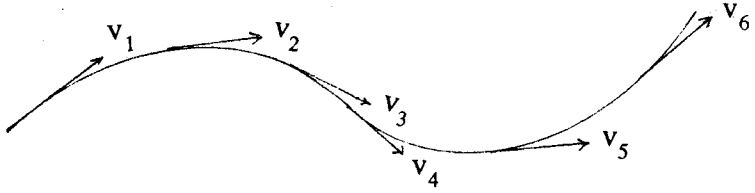
Aliran stationer adalah aliran di mana setiap saat garis aliran berimpit dengan jalan aliran.

Aliran Tak Stationer

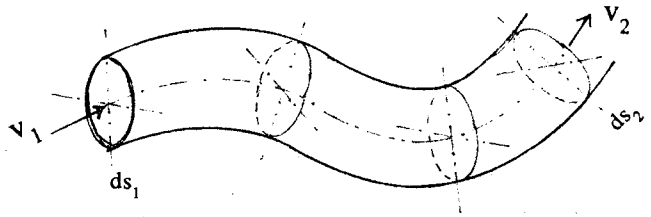
Aliran tak stationer adalah merupakan kebalikan dari stationer.

Tabung Aliran
(Stream Tube)

Tabung aliran adalah ruangan tabung yang dibatasi oleh suatu bidang yang terdiri dari garis-garis stream line.



Gambar : Stream Line



Gambar : Stream Tube

Bila penampang dari stream tube sama dengan nol, maka limitnya adalah garis stream line.

Vektor kecepatan daripada semua titik dari permukaannya merupakan tangensial (dengan permukaannya) tidak ada komponent normal dari kecepatannya, sehingga tidak terjadi perpindahan partikel pada dinding pembatasnya.

2.4 PERSAMAAN KONTINYUITAS

Penghasilan aliran atau dengan sebutan debit adalah sejumlah zat cair yang mengalir pada tiap satuan waktu sepanjang bagian dari alirannya, bisa dinyatakan dalam volume unit, berat atau massa unit.

Dalam satuan volume ;

$$dQ = V \cdot ds \ \left(\frac{m^3}{det}\right)$$

di mana ds adalah differential dari luasan penampang (m^2) dan V adalah kecepatan aliran $\left(\frac{m}{det}\right)$.

Dan bila dinyatakan dalam satuan berat

$$dG = \gamma \cdot dQ \ \left(\frac{Kg}{det}\right) \text{ ; dan bila dalam satuan massa :}$$

$$dM = \rho \ \left(\frac{Kg.det^2}{m^4}\right) \cdot dQ \ \left(\frac{m^3}{det}\right).$$

Kecepatan aliran berbeda-beda pada tiap penampang, maka harga debitnya dihitung menurut jumlah stream tubenya.

$$Q = \int V \cdot ds$$

Kecepatan rata-rata dari suatu penampang

$$V_m = \frac{Q}{S}, \text{ atau } Q = V_m \cdot s$$

Untuk harga penghasilan (debit) dari suatu zat cair yang incompressible dalam aliran stationer harus selalu sama pada semua bagian dari stream tube, sehingga berlaku :

$$dQ = V_1 \cdot dS = V_2 \cdot dS_2 = V_n \cdot dS_n = \text{Constant.}$$

Ini adalah merupakan persamaan kontinyuitas dengan mengambil kecepatan rata-rata pada dinding yang tidak tembus fluida, sehingga :

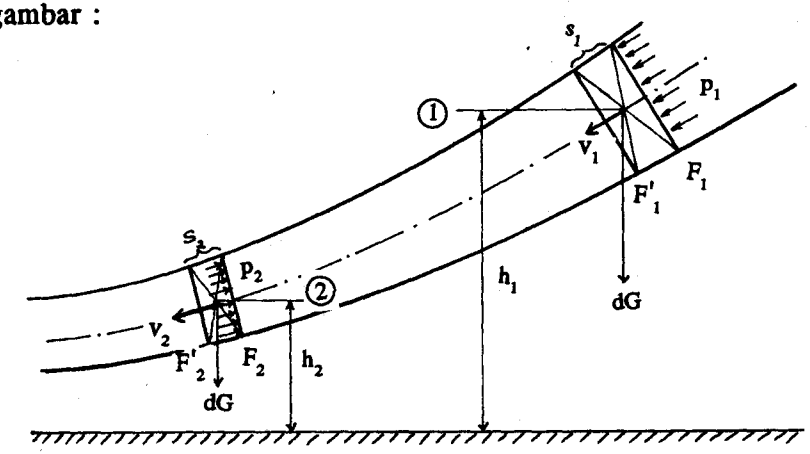
$$Q = V_{m_1} \cdot S_1 = V_{m_2} \cdot S_2 = \text{Constant.}$$

2.5. HUKUM BERNOULLY

Berpijak kepada uraian di atas, maka kita sekarang melangkah kepada Hukum Bernoully yang didasarkan empat faktor utama dan dipakai sebagai persayaratan hukum Bernoully yaitu :

1. Bahwa alirannya stationer
2. Bahwa zatnya incompressible
3. Bahwa zatnya ideal
4. Menurut Hukum Kontinyuitas.

Kita tinjau fluida yang mengalir di dalam pipa seperti pada gambar :



Kita tinjau titik 1 dan 2, maka jarak tempuh fluida di dalam pipa :

$$S_1 = V_1 \cdot dt \quad \text{dan } S_2 = V_2 \cdot dt.$$

Menurut Hukum Kontinyuitas dikatakan bahwa debit zat cair di dalam suatu pipa alir selalu constant.

Sehingga :

$$F_1 \cdot V_1 = F_2 \cdot V_2, \text{ maka } F_1 \cdot V_1 \cdot dt = F_2 \cdot V_2 \cdot dt$$

atau $F_1 \cdot S_1 = F_2 \cdot S_2$

di mana S adalah jarak yang ditempuh, F adalah luasan dan V adalah kecepatan fluida. Maka usaha dari fluida yang mengalir pada stream tube adalah :

$$A_1 = p_1 \cdot F_1 \cdot S_1 - p_2 \cdot F_2 \cdot S_2 = F_1 \cdot S_1 \cdot p_1 - F_2 \cdot S_2 \cdot p_2$$

dan dalam hal $F_1 = F_2$ serta $S_1 = S_2$ maka

$$A_1 = F_1 \cdot S_1 (p_1 - p_2)$$

usaha potentialnya adalah :

$$A_2 = m.g.h = F_1 \cdot S_1 \cdot \gamma_1 \cdot h_1 - F_2 \cdot S_2 \cdot \gamma_2 \cdot h_2$$

dan dengan alasan yang sama, maka :

$$A_2 = F_1 \cdot S_1 \cdot \gamma (h_1 - h_2)$$

sedang usaha kinetisnya adalah :

$$A_3 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot V_2^2 - \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot V_1^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot F_2 \cdot S_2 \cdot \gamma \cdot \frac{1}{g} V_2^2 - \frac{1}{2} \cdot F_1 \cdot S_1 \cdot \gamma \cdot \frac{1}{g} \cdot V_1^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F_1 \cdot S_1 (V_2^2 - V_1^2)$$

Pada zat cair yang mengalir, berlaku persamaan keseimbangan energie :

$$A_1 + A_2 = A_3$$

$$F_1 \cdot S_1 (p_1 - p_2) + F_1 \cdot S_1 \cdot \gamma (h_1 - h_2) + \frac{\gamma}{2g} \cdot F_1 \cdot S_1 (V_2^2 - V_1^2)$$

maka :

$$(p_1 - p_2) + \gamma (h_1 - h_2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma}{g} (V_2^2 - V_1^2)$$

Sehingga :

$$p_1 + \gamma \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot V_1^2 = p_2 + \gamma \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot V_2^2$$

atau ;

$$\boxed{\frac{p}{\gamma} + h + \frac{V^2}{2g} = C}$$

Persamaan terakhir ini disebutkan dengan hukum Bernoully di mana $\frac{p}{\gamma}$ disebut ketinggian tekanan, h disebut ketinggian geodetik dan $\frac{V^2}{2g}$ disebut ketinggian kecepatan. Sedangkan γ adalah berat jenis media.

Besar kecilnya berat jenis zat dipengaruhi oleh temperatur seperti dirumuskan :

$$\gamma_t = \frac{\gamma_o}{1 + \alpha \cdot \Delta t}, \text{ di mana } \alpha$$

adalah koefisiensi muai ruang ($\frac{1}{^\circ C}$) dan Δt adalah suhu ($^\circ C$).

Berikut ditabelkan berat jenis fluida pada standard temperatur and pressure (S.T.P) :

Jenis Fluida	Berat jenis ($\frac{Kg}{dm^3}$)
Bensin	0.750
Minyak Tanah	0.80
Minyak Pelumas	0.885
Minyak Hydrolis	0.850
Alkohol	0.79
Air	1.0
Udara	0.00129
Air Laut	1.03
Air Raksa	13.6
Gas Helium	0.00018
Gas Lampu	0.00077

Contoh Soal 1.

Suatu bendungan P.L.T.A. yang bisa memanfaatkan ketinggian 250 m dengan pipa pesat berukuran diameter 1/2 m. Pada kondisi full capacity ketinggian di atas bisa dianggap relatif tidak ada perubahan ketinggian.

Ditanya : Tenaga teoritis pada turbine.

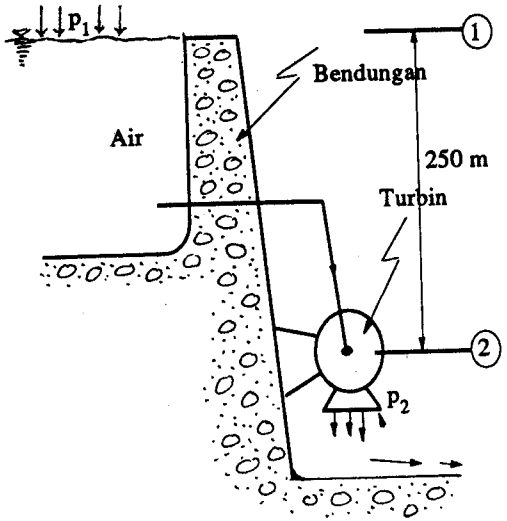
Penyelesaian :

Kita tinjau titik 1 dan 2, maka persamaan bernoully :

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma_2} + h_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$p_1 = p_2 = p_{atm.}$

$V_1 = 0$ karena tidak ada perubahan level ketinggian.



$h_2 = 0$

$h_1 = 250$ m

Sehingga :

$$h_1 = \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{atau}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 250}$$

$$= 70 \text{ m/det.}$$

Kecepatan air di dalam pipa pesat adalah

$V = 70$ m/det.

Tekanan yang bekerja pada turbine wheel :

$$p = \gamma \left(\frac{Kg}{m^3}\right) \cdot \frac{V^2 \left(\frac{m^2}{det^2}\right)}{2 \cdot g \left(\frac{m}{det^2}\right)}$$

$$= 1.10^3 \cdot \frac{70^2}{2 \cdot 9{,}81} = 24{,}975 \cdot 10^4 \ \frac{Kg}{m^2}$$

$$= 25 \ \frac{Kg}{cm^2}$$

Gaya pada turbin wheel

$$P = p \left(\frac{Kg}{m^2}\right) \cdot A \cdot (m^2)$$

$$= 25 \cdot 10^4 \cdot \frac{\pi}{4} \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 4{,}9 \cdot 10^4 \quad Kg$$

Tenaga teoretis turbine :

$$N = \frac{P(Kg) \cdot V\left(\frac{m}{det}\right)}{75 \left(\frac{Kg.m}{HP.det}\right)}$$

$$= \frac{4{,}9 \cdot 10^4 \cdot 70}{75}$$

$N = 45733{,}33$ (H.P).

Contoh soal 2.

Sebuah P.L.T.U. yang mempunyai ketel uap dengan kapasitas 200 $\frac{\text{ton uap}}{\text{jam}}$ pada tekanan 15 ata. Bila berat jenis uap yang diexpansikan ke turbine wheelnya adalah : 0,0008 $\frac{Kg}{dm^3}$, maka :

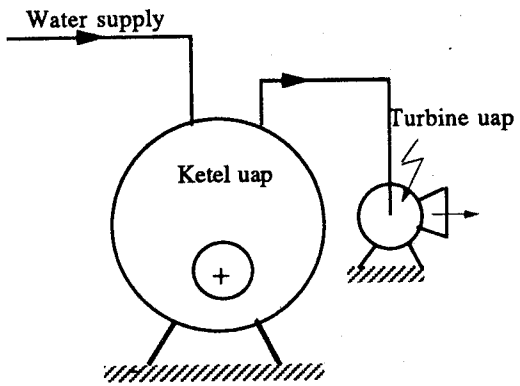
Berapa tenaga output teoritis ketel uapnya.

Penyelesaian :

$$\text{Tenaga} \quad N = \frac{P(Kg) \cdot V\left(\frac{m}{det}\right)}{75 \left(\frac{Kg \cdot m}{det}\right)}$$

$$P = p \left(\frac{Kg}{m^2}\right) \cdot A \ (m^2)$$

di mana p adalah tekanan uap di dalam pipa, A adalah



luas penampang pipa.

$N = \frac{p \cdot A \cdot V}{75}$, di mana

$A \cdot V = Q \cdot (m^3/det)$

Kapasitas produksi uap 200 $\frac{ton}{jam} = 200.10^3 \cdot \frac{1}{3600} \frac{Kg}{det}$

$= 55{,}6 \frac{Kg}{det}$

Berat jenis uap = 0,8 $\frac{Kg}{m^3}$

Jadi kapasitas produksi uap :

$$Q = \frac{55{,}6 \left(\frac{Kg}{det}\right)}{0{,}8 \cdot \left(\frac{Kg}{m^3}\right)} = 69{,}5 \ m^3/det.$$

Sehingga :

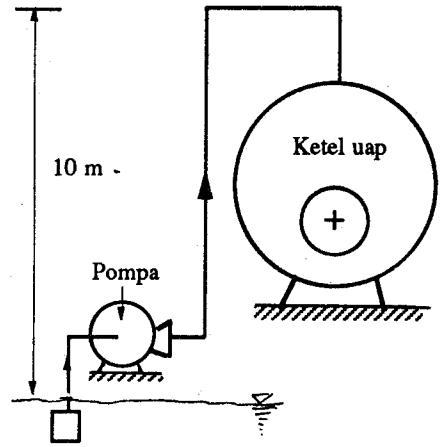
$$N = \frac{Q.p}{75} = \frac{69{,}5 \cdot 15 \cdot 10^4}{75} = 13{,}9 \cdot 10^4 \ (HP).$$

Contoh Soal 3.

Sebuah station pompa yang dipakai untuk mensupply steam power plant dengan tekanan kerja 20 Kg/cm^2 dan kapasitas pemompaan 20 $\frac{liter\ air}{detik}$. Bila letak ketel uapnya adalah 10 m dari permukaan air yang dipindahkan.

Ditanya : Tenaga teoritis untuk menggerakkan pompa ini.

Penyelesaian :



Tekanan kerja ketel uap

$p_1 = 20 \frac{Kg}{cm^2} = 20 \cdot 10^4 \frac{Kg}{m^2}$

Tekanan karena perbedaan elevasi :

$p_2 = 10 \text{ m} = 1 \frac{Kg}{cm^2} = 1 \cdot 10^4 \frac{Kg}{m^2}$

Total tekanan yang harus dilawan pompa adalah :

$$p = p_1 + p_2 = 21.10^4 \frac{Kg}{m^2}$$

Tenaga penggerak pompa teoretis :

$$N = \frac{20 \cdot 10^{-3} \left(\frac{m^3}{det}\right) \cdot 21 \cdot 10^4 \left(\frac{Kg}{m^2}\right)}{75 \left(\frac{Kg \cdot m}{HP \cdot det}\right)}$$

N = 56 (HP)

2.6. KRITERIA ALIRAN FLUIDA

Aliran zat cair di dalam pipa dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis aliran yaitu aliran laminer dan aliran turbulent.

ALiran Laminer

Aliran Laminer terjadi bila zat cair bergerak pada tempat yang berlapis-lapis tanpa terjadi fluxtuasi kecepatan. Bentuk stream line ditentukan oleh bentuk daripada pipa di mana zat cair mengalir.

Di dalam aliran laminer yang melalui pipa lurus dengan penampang yang beraturan maka seluruh stream line merupakan garis-garis lurus yang sejajar dengan sumbu pipa. Pada aliran laminer tidak terdapat perubahan pemindahan bagian zat cair dan zat cair dalam keadaan beraturan (tidak bercampur).

Peninjauan dengan pesawat pezometer yang dipasangkan pada sebuah pipa dengan aliran zat cair yang laminer akan menunjukkan tekanan tetap. Jadi aliran laminer adalah beraturan untuk tinggi kenaikan yang tetap stationer.

Pada suatu saat aliran laminer tidak dapat dianggap sebagai aliran yang tanpa olakan (pusaran) sama sekali. Karena walaupun di dalam aliran tak dapat ditunjukkan tanda-tanda adanya pusaran, tetapi aliran laminer mempunyai gerak translasi dan rotasi pada bagian pusatnya dan kecepatan sudutnya merupakan harga yang riil.

Tanda-tanda aliran laminer adalah bahwa kecepatan maximum pada sumbu pipa dan kecepatan di dinding nol.

Aliran Turbulent

Aliran disebut turbulent bila zat cair mengalir dengan kecepatan dan tekanan yang berfluxtuasi.

Garis stream line hanya mendekati saja dan ditukar oleh bentuk kanalnya.

Gerak zat cair tak teratur dan garis-garis aliran merupakan lengkungan tegak.

Reynold membedakan aliran laminer dan turbulent menurut kecepatan alirannya yang disebut dengan kecepatan kritis dari Reynold. Reynold melakukan percobaan-percobaan di mana kecepatan kritis Reynolds sebanding dengan Viscositas kinematisnya (υ) dan berbanding terbalik dengan diameter pipanya.

$$V_{cr} = K \cdot \frac{\upsilon}{d}$$

di mana K adalah konstanta kesebandingan tanpa satuan yang harganya sama untuk semua zat cair dan gas pada setiap penampang pipa.

Ini berarti bahwa perubahan dalam aliran mengambil tempat pada setiap perbandingan tertentu antara kecepatan, diameter dan kekentalan.

$$k = \frac{V_{cr} \cdot d}{\upsilon}$$, di mana k ini

disebut angka kritis dari Reynolds dan biasanya dinyatakan sebagai:

$$Re_{cr} = \frac{V_{cr} \cdot d}{\upsilon}$$

Menurut Reynold, bahwa dengan percobaan-percobaannya Re_{cr} ini sekitar 2300.
Untuk aliran khusus angka Reynold dinyatakan :

$$\boxed{Re = \frac{V \cdot d}{\upsilon}}$$

Di sini dibedakan aliran laminer pada kecepatan yang selalu di bawah angka kritis dari Reynold number, sehingga batasan umum:

Untuk aliran laminer $Re < Re_{cr} \leq 2300$

Untuk aliran turbulent $Re > Re_{cr} > 2300$

2.7. TEKANAN STATIS FLUIDA

Tekanan static fluida atau disebut hydro static adalah tekanan yang memang sama sekali tidak terdapat fluxtuasi atau dengan kata lain tidak berubah-ubah (dynamic). Keadaan yang nyata dari aplikasi hydro static ini adalah terjadi pada konstruksi bangunan static misalnya tangki air, tangki minyak, bendungan air, bangunan kanal/ saluran air.

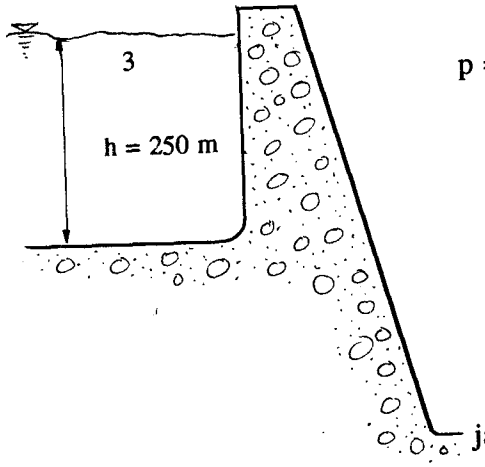
Contoh soal

Sebuah bendungan dengan ketinggian airnya mencapai 250 m.

Ditanya : berapa tekanan hydrostatic pada daerah dasar bendungan ini ?

Penyelesaian :

Tekanan pada dasar air bendungan ini adalah



$$p = \gamma.(\frac{Kg}{m^3}) . h\,(m)$$

$$= 1000 . (\frac{Kg}{m^3}) . 250\ (m)$$

$$= 25 . 10^4\ \frac{Kg}{m^2}$$

jadi : $p = 25 . \frac{Kg}{cm^2}$

2.8. TEKANAN DINAMIS FLUIDA

Tekanan dinamis dimaksud bahwa tekanan atau headnya terjadi berfluxtuasi. Berfluxtuasinya tekanan tadi disebabkan oleh berfluxtuasinya beban dalam pemakaian. Untuk mesin-mesin fluida baik pompa, turbine, kapal, pesawat, blower selama ia tidak berfluxtuasi bebannya (tanpa beban) maka ia relevant mempunyai static head atau static pressure.

Akan tetapi mengingat dalam pemakaian boleh dikatakan ia jarang sekali dipakai tanpa dipergunakan untuk kepentingan konsument, maka berarti pula ia mempunyai dynamic head. Untuk pompa, turbine, blower yang dikendalikan dengan sistem kontrol otomatis yang menggunakan slide (circle) potensiometer maka putaran pompa mempunyai variasi yang sangat banyak. Perubahan-perubahan ini dengan sendirinya berpengaruh pada head.

Oleh sebab itu secara umum bahwa untuk beban yang berubah-ubah maka tekanan yang terjadi disebut dynamic head.

Untuk kapal dan pesawat, dinamika beban dipengaruhi oleh kondisi alam, karakteristik gelombang air laut, kecepatan, keadaan cuaca mendung/angin, bentuk permukaan, kedalaman operasi khususnya untuk kapal selam dan terpedo.

Contoh soal 1.

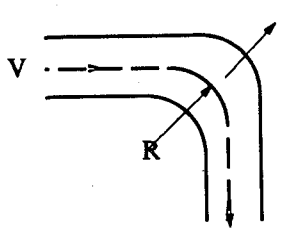
Fluida dengan berat jenis $\gamma\ (\frac{Kg}{m^3})$ yang bergerak dengan kecepatan $V\ (\frac{m}{det})$.

Bila luas penampang pipa A (m^2) dan pada suatu titik tertentu pipa dibengkokkan dengan radius R (m).

Ditanya : Gaya impuls yang terjadi

Penyelesaian :

Gaya impuls yang terjadi :



$$F = \frac{W}{g} \cdot \omega^2 \cdot R$$

$$F = \frac{\gamma\,(\frac{Kg}{m^3}).A.(m^2).V(\frac{m}{det})}{g(\frac{m}{det^2})} \cdot (\frac{V}{R})^2 (\frac{cycle}{sec^2})^2 . R(m)$$

jadi :

$$F = \frac{A \cdot \gamma}{g \cdot R} \cdot V^3$$

2.9. FLUIDA NYATA

Kalau pada pembicaraan terdahulu kita mendiskusikan tentang keadaan-keadaan yang teoritis dalam arti bahwa di sana kita beranggapan pipa-pipanya licin sempurna serta tidak terdapat kerugian-kerugian apapun. Kondisi semacam itu dalam praktek tidak pernah terjadi mengingat pipa-pipa/body surface relatif kasar serta terdapat kerugian-kerugian pada Valve, kerugian-kerugian bengkokan pipa/body dan lain-lain.

Bila kita tulis dalam bentuk matematik :

$$H_{m_1} = H_{m_2} + \Sigma h$$

di mana H_m adalah head mula pada tandon/pressure sistem yang mensupply ke dalam pipa-pipa, H_{m_2} adalah head setelah pada saluran/dalam pipa dan Σh adalah total kehilangan ketinggian di dalam pipa, sambungan-sambungan, valve-valve dan lain-lain.

Kehilangan ketinggian atau dapat pula disebut kehilangan energie dipengaruhi oleh beberapa sebab di antaranya ialah bentuk, ukuran, kekasaran pipa, sambungan-sambungan pipa, valve, bengkokan-bengkokan dan kekentalan fluida.

Kehilangan energi tidak tergantung dari tekanan absolut fluida. Eksperimen menunjukkan bahwa kehilangan energi hampir berbanding langsung dengan rata-rata pangkat dua dari pada kecepatannya.
Bila diekspresikan, kehilangan energie adalah :

$$h = \xi \cdot \frac{V_m^2}{2g}$$

Sehingga bila ditulis dalam bentuk tekanan adalah :

$$p = \gamma \cdot h$$

$$= \gamma \cdot \xi \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Dari percobaan, kehilangan-kehilangan (losses) tadi dibedakan dalam dua (2) group yaitu :

1. Local (form atau minor) losses
2. Friction (major) losses.

Local atau kehilangan kecil dipengaruhi oleh gate, Valve, orifice, dan elbow.
Bila ditulis local losses tadi :

$$h_\ell = \xi_\ell \cdot \frac{V^2}{2g}$$ dan $$p_1 = \gamma \cdot \xi_\ell \cdot \frac{V^2}{2g}$$

di mana ξ_ℓ adalah koeffisient of local losses dan ditabelkan sebagai berikut :

Local Feature	ξ
Flexible pipa connection	0,3
Standard 90° elbow	
(bored body)	1,2 ÷ 1,3
Tee	3,5
Fuel Tap	1 ÷ 2,5
Non return Valve	2,0
Gauze Filter	1,5 ÷ 2,5
Flow Meter Sensor	
with impeller Rotating	7,0
with impeller Braked	11 ÷ 12
Pipa Extrance (tank outlet)	0,5 ÷ 1,0
Pipe Outlet (tank inlet)	1,0

Sedangkan untuk elbow atau bengkokan-bengkokan pipa yang tidak standar diberikan rumus :

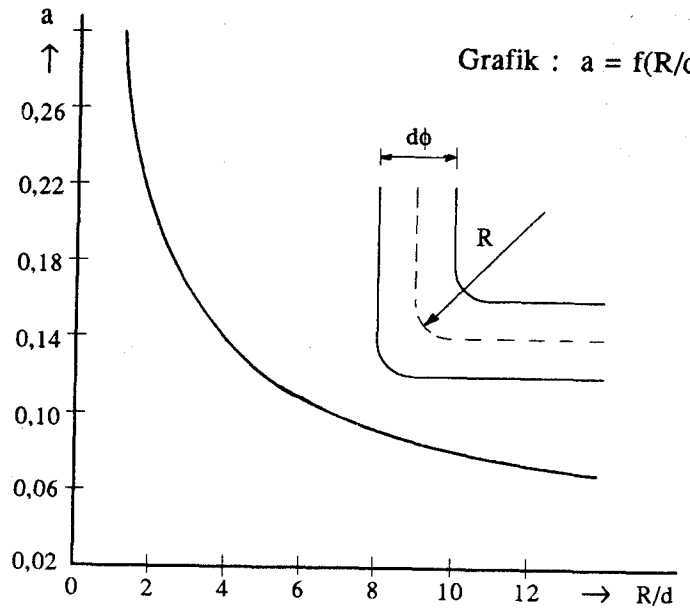
$$\xi = 0{,}73 \cdot a \cdot b$$

di mana $a = f(\frac{R}{d})$ dan $b = f(\delta^\circ)$

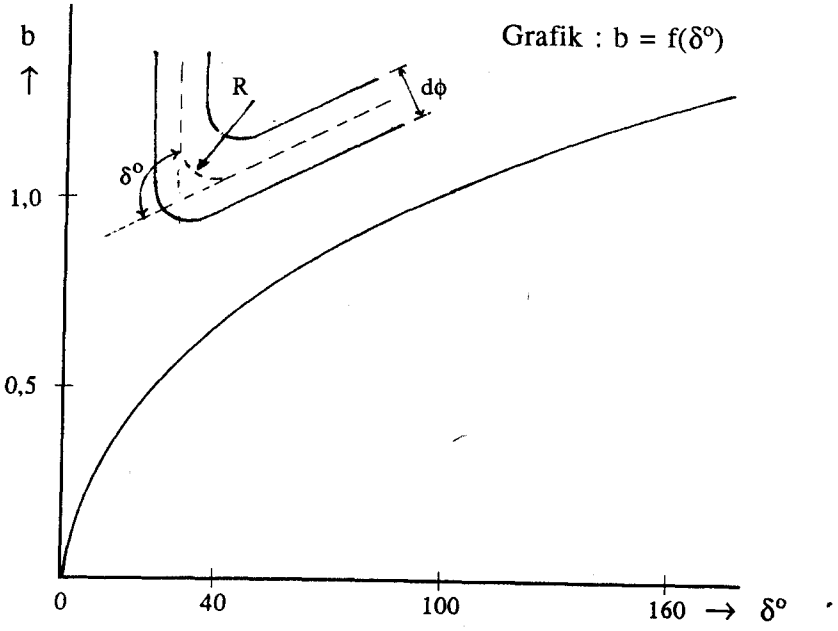
di mana R adalah radius bengkokan, d diameter dalam pipa, δ° adalah sudut bengkokan pipa.

Berikut ini diberikan grafik hasil dari experiment yang menunjukkan harga-harga a dan b untuk ukuran R, d, dan δ° yang berbeda-beda.

Grafik : a = f(R/d)



Grafik : b = f(δ°)



Sedangkan major atau friction losses ditulis sebagai :

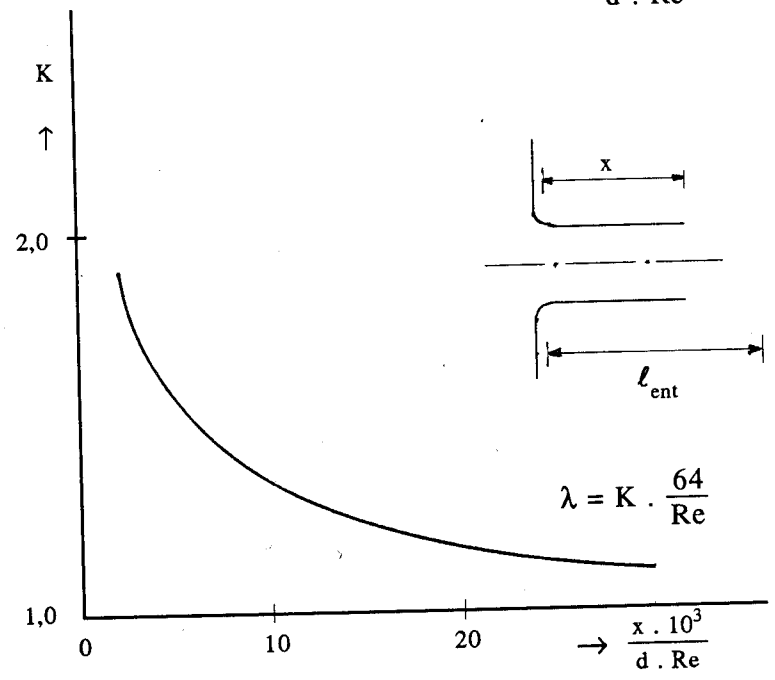
$$h_\ell = \xi_\ell \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{di mana} \quad \xi_f = f\left(\frac{\ell}{d}\right) = \lambda \cdot \frac{\ell}{d}$$

di mana l adalah panjang pipa, d adalah diameter dalam daripada pipa dan λ adalah factor friksi.
Untuk aliran laminer harga λ diberikan sebagaimana grafik serta perumusan berikut :

$$\lambda_l = K \cdot \frac{64}{Re}$$

di mana K bisa dilihat pada grafik.

Grafik : $K = f\left(\frac{x \cdot 10^3}{d \cdot Re}\right)$



Dan untuk aliran turbulent harga koeffisient friksi dicari dari persamaan empiris :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1{,}8 \cdot \log \frac{Re}{Re \cdot \frac{k'}{d} + 7},$$

di mana k' ditunjukkan sebagaimana tabel berikut :

Pipe Material	10^3. k', mm
Glass Tubing	0,0
Drawn tubing, brass, lead, copper	0,0
Seamsless Steel, high grade-manafacture	0,6 ÷ 2,0
Steel Pipe	3 ÷ 10
Asphalt - dipped cast iron pipe	10 ÷ 25
Cast iron pipe	25 ÷ 50

2.10. TEKANAN KERJA MESIN FLUIDA

Mesin Fluida adalah pesawat konversi energi yang dipakai untuk mentransformasi energi fluida atau sebaliknya.
Ada 4 group pengklasifikasian mesin fluida dalam hal ini yaitu pompa, turbine, blower dan kompressor. Dari pompa dapat dikembangkan menjadi teknik bangunan kapal dan pesawat.
Pada prinsipnya bentuk dan disain ke 4 macam mesin fluida di atas berpangkal tolak dari kondisi yang sama yaitu medianya, akan

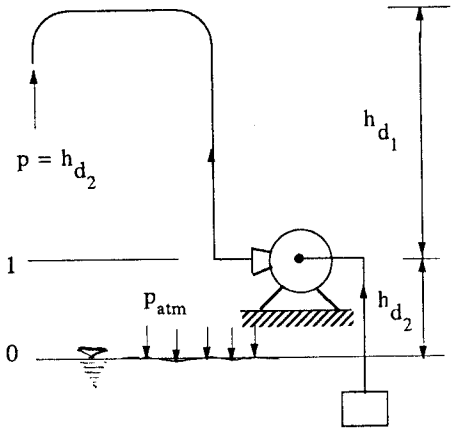
tetapi mengingat terdapat perbedaan fungsi maka terdapat perbedaan-perbedaan prinsip terutama di dalam disain bentuk dan operasinya.

Turbine dengan transfer energi air atau angin maka daripadanya didapat energi untuk kita, akan tetapi pompa, kompressor, blower, kapal dan pesawat adalah merupakan kebalikan dari turbine.

Berbicara tentang tekanan kerja, maka dengan adanya perbedaan fungsi tadi cukup beralasan kiranya apabila di dalam menghitung tekanan kerja pompa adalah berbeda dengan turbine.

Langkah pertama kita akan membicarakan tentang tinggi total pemompaan atau total head pump.

Tinggi pemompaan dibagi dalam 2 (dua) bagian yaitu suction lift atau tinggi pengisapan pompa dan pressure head atau tinggi tekanan.



Kita tinjau installasi pompa sebagaimana gambar berikut. Besar kecilnya discharge atau pressure head adalah dipengaruhi oleh tinggi geodetik h_{d1} dan tinggi tekanan h_{d2} serta losses pada discharge dan suction line. Dalam persoalan ini total pressure atau total head teoritis adalah:

$$h_d = h_{d1} + h_{d2} = h_{d1} + \frac{p}{\gamma} .$$

Sedangkan tinggi pengisapan pompa atau suction head dipengaruhi oleh tekanan atmosfir alam atau tekanan yang bekerja pada permukaan fluida di daerah isap, kecepatan aliran fluida, serta temperatur fluida.

Katakan saja misalnya tekanan yang bekerja pada suction area adalah tekanan atmosfir alam, di sini menurut Bernoully :

$$\frac{p_{atm}}{\gamma} + 0 + \frac{V^2}{2g} = 0 + h_s + \frac{V^2}{2g}$$

maka, maximum suction head atau teoretical of maximum suction head :

$$h_{st} = \frac{p_{atm}}{\gamma}$$

Untuk air, maka

$$h_{st} = \frac{1{,}0336 \,.\, \frac{Kg}{cm^2}}{1 \,.\, \frac{Kg}{m^3}} = \frac{1{,}0336 \,.\, \frac{Kg}{m^2}}{1000 \,.\, \frac{Kg}{m^3}}$$

$$h_{st} = 10 \text{ m.}$$

Karena pengaruh kerugian-kerugian di dalam pipa isap, maka actual of suction lift :

h_{sact} adalah lebih kecil dari 10 m.

Tinggi rendahnya daerah letak geografis di mana pompa itu dipasang akan berpengaruh terhadap p_{atm}, karena semakin lebih tinggi p_{atm} cenderung menurun.

Di samping itu temperatur fluida berpengaruh terhadap kandungan udara di dalam fluida.

Makin tinggi temperatur, kandungan udara semakin besar. Semakin besarnya prosentase udara maka h_{sact} semakin kecil.

Dalam istilah yang lebih general yaitu disebut Net Positive suction head (N.P.S.H) :

$$h_{sact.} = h_{st} - h_{slosses.}$$

Seperti telah disebutkan tadi bahwa besar kecilnya losses dipengaruhi oleh kecepatan fluida baik pada suction maupun discharge

line. Kalau kita katakan bahwa total kerugian head pada sistem pemompaan ini adalah H_c (m), sedangkan tinggi nyata pemompaan adalah

$$H = h_d + h_s$$

maka effiecientcy hydraulic adalah :

$$\eta_h = \frac{H}{H_i} = \frac{H}{H + H_c} ,$$

Pada umumnya η_h ini bernilai 0,75 – 0,98. Karena kelemahan-kelemahan pada valve, paking, seal, kebocoran-kebocoran pipa bagian suction line, maka ada beberapa prosen dari air yang terhisap tadi mengandung udara (lebih-lebih didukung oleh temperatur), maka pengisian pompa tiap sikle menjadi mengecil.

Karena unsur ini pulalah, maka di dalam perhitungan harus dimasukkan pula efficientcy volumetris :

$$\eta_v = 0,85 - 0,98.$$

Dan perlu kita ketahui pula bahwa di dalam operasinya selalu terjadi gesekan pada mekanisme misalnya bearing, piston ring dan lain-lain, maka tidak seluruhnya energi dari engine penggerak pompa tersebut tertransfer hanya untuk proses pemindahan fluida.

Faktor di sini ditulis dengan sebutan efisiensi mekanis :

$$\eta_m = 0,8 - 0,9.$$

Dengan demikian maka efisiensi total dari pompa adalah :

$$\eta_{op} = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m = 0,55 - 0,92.$$

Pada umumnya $\eta_h \cdot \eta_v$ disebut juga dengan efisiensi indikatip dengan simbol η_i.

jadi :

$$\eta_{op} = \eta_i \cdot \eta_m = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m.$$

Langkah berikutnya kita mempelajari head pada turbine. Kalau total head losses pada turbine adalah H_c (m), sedangkan riil head yang tersedia adalah H (m), maka efficientcy hydraulic dari turbine adalah :

$$\eta_h = \frac{H}{H_i} = \frac{H}{H + H_c}$$

Untuk efisiensi jenis yang lain nilai-nilainya mempunyai harga yang sama dengan pompa.

2.11. TENAGA MESIN FLUIDA

Dalam bab ini kita membicarakan tenaga mesin fluida. Ini berarti pada pompa diperlukan suplai tenaga dari luar sedang turbine justru menghasilkan tenaga.
Kita kenal di atas bahwa pompa harus bisa melawan total head yang ada termasuk pula losses head.

Dus tekanan kerja pompa haruslah :

$$p = \gamma \left(\frac{Kg}{m^3}\right) . h_{total} \text{ (m)}.$$

Katakan saja bila tekanan pompa bekerja pada pipa dengan luas penampang A (m^2), maka gaya yang mempunyai arah vektor sejajar dengan sumbu pipa adalah :

$$p = p \left(\frac{Kg}{m^2}\right) . A \ (m^2)$$

Sehingga tenaga adalah :

$$N = \frac{P \text{ (Kg)} . V \left(\frac{m}{det}\right)}{75 \left(\frac{Kg . m}{HP . det}\right)} ,$$

di mana V adalah kecepatan fluida di dalam pipa, di mana vektor kecepatan ini searah dengan vektor gaya.

Sehingga :

$$N = \frac{p \cdot Q}{75} = \frac{Q \cdot \gamma h_{total}}{75}$$

Dengan adanya unsur efisiensi maka tenaga penggerak pompa adalah :

$$N = \frac{Q\,(\frac{m^3}{det}) \cdot \gamma\,(\frac{Kg}{m^3}) \cdot H\,(m)}{\eta_{op} \cdot 75\,(\frac{Kg \cdot m}{HP \cdot det})}$$

atau : $\boxed{N = \frac{Q \cdot \gamma \cdot H\,(m)}{\eta_{op} \cdot 75}}$ (HP)

di mana $H = h_d + h_s = (h_{d1} + \frac{p}{\gamma}) + h_s$ dan p adalah tekanan kerja maksimum dari system yang didukung.

Untuk turbine, maka tenaga yang bisa dihasilkan adalah :

$$\boxed{N = \frac{\eta_{op} \cdot Q \cdot \gamma \cdot H}{75}}$$ (H.P).

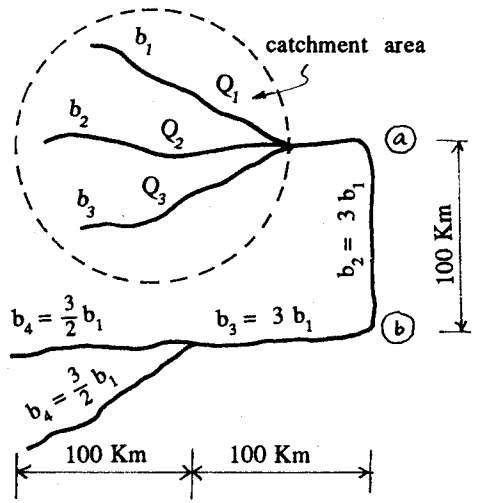
Contoh soal 1.

Curah hujan di suatu catchment area yang terdiri dari 3 buah sungai masing-masing lebarnya 40 m adalah 1 cm per jam hujan. Daerah ini luasnya 100 Km^2.

Bila kemiringan relatif daerah a – b $1/2^0$.

Sedang karena sifat mampu serap tanah (permeability), maka diperkirakan 1/3 bagian saja dari air tersebut yang melewati sungai.

Adapun ketiga sungai tadi adalah merupakan hulu daerah aliran sungai seperti gambar.



Bila b adalah lebar sungai

Coba :

Perkirakan berapa kedalaman sungai di catchment area untuk mengalirkan air hujan tadi.

Penyelesaian :

Catchment area atau disebut pula daerah tangkapan air mempunyai luas : = $100 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^3\ m^2 = 10^{10}\ m^2$.

Debit hujan di daerah catchment adalah :

$$Q = 10^{10}\ m^2 \cdot \frac{0{,}01\ m}{jam} = 27{,}8 \cdot 10^3\ m^3/det$$

Yang lewat sungai hanya $\frac{1}{3}$ bagian, maka :

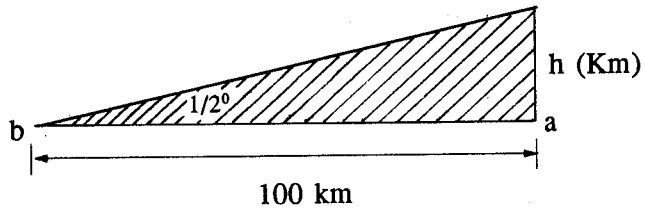
$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = \frac{1}{3} Q.$$

Karena cross section sungai sama, maka debit yang lewat masing-masing sungai adalah :

$$= \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} Q = \frac{1}{9} \cdot 27{,}8 \cdot 10^3 = 3{,}09 \cdot 10^3\ m^3/det.$$

Ketinggian relatif dari a ke b adalah :

$h = 100 \text{ Km. tg } 1/2^\circ = 0{,}873 \text{ Km}$



atau $h = 873$ m

Kecepatan air dihitung dari persamaan :

$$873 = \left[1 + \lambda \cdot \frac{l}{b} + \xi \right] \frac{V^2}{2g}$$

$$873 = \left[1 + \lambda \left(\frac{3l_1}{b_1} + \frac{l_2}{b_2} + \frac{l_3}{b_3} + \frac{2l_4}{b_4} \right) + \xi \right] \frac{V_1^2}{2g}$$

$$873 = \left[1 + \lambda \left(\frac{3\,l_1}{b_1} + \frac{l_1}{3b_1} + \frac{l_1}{3b_1} + \frac{2l_1}{3/2b_1} \right) + \xi \right] \frac{V_1^2}{2g}$$

$$873 = \left[1 + \lambda \frac{l_1}{b_1} \left(3 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{4}{3} \right) + \xi \right] \frac{V_1^2}{2g}$$

Dianggap ada 3 bengkokan dan koeffisient gesek dengan tanah = 0,1

maka :

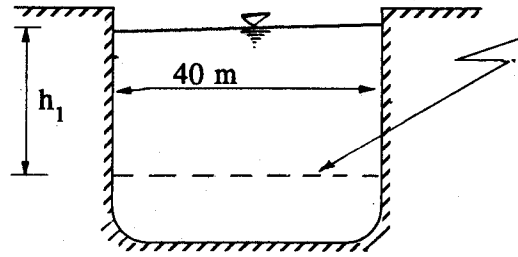
$$873 = \left[1 + 0{,}1 \cdot \frac{5 \cdot 100 \cdot 10^3}{40} + 3 \right] \frac{V_1^2}{2g}$$

$$873 = 1254 \frac{V_1^2}{2g}$$

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot \frac{873}{1254}} = 3{,}2 \text{ m/det.}$$

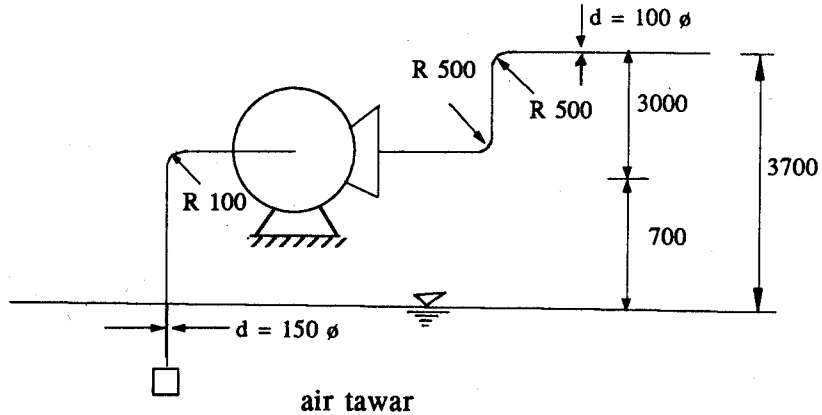
Sehingga :

$$3{,}09 \cdot 10^3 \left(\frac{m^3}{det} \right) = 40 \text{ (m)} \cdot h_1 \text{ (m)} \cdot 3{,}2 \left(\frac{m}{det} \right)$$



$h_1 = 21$ m.

Contoh soal 2



air tawar

Gambar di atas adalah sebuah pompa air tawar dalam ukuran mm.

Bila kapasitas pemompaan adalah Q = 25 m^3/jam

a. Carilah head losses pada pipa-pipa

b. Tekanan pompa

c. Daya pompa untuk menaikkan air seperti pada gambar

d. Daya penggerak pompa

Penyelesaian :

Kecepatan air di dalam :

- Pipa isap : $V_i = \frac{Q}{A_1} = \frac{25\ m^3}{3600\ .\ det\ .\ \frac{\pi}{4}\ (0{,}15\ m)^2}$

$= 0{,}39$ m/det.

- Pipa tekan : $Vt = \frac{25}{3600\ .\ \frac{\pi}{4}\ (0{,}1)^2} = 0{,}88$ m/det.

Angka Reynold pada :

- pipa isap : $Re_i = \frac{V_i\ .\ d}{V} = \frac{39{,}3\ .\ 15}{0{,}009} = 65495{,}86$

- pipa tekan : $Re_t = \frac{88{,}42\ .\ 10}{0{,}008} = 110523{,}88$

Ternyata bahwa Re_i dan Re_t adalah turbulent.
Ambil pipa-pipanya dari besi tuang, maka

$k' = 0{,}005$ cm.

Friction factor pada :

- pipa isap $\frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} = 1{,}8 \log \frac{Re}{Re\ .\ \frac{k'}{d_i} + 7}$

Sehingga $\lambda_i = 0{,}0274$

- pipa tekan : $\lambda_t = 0{,}029$

Bend faktor pada :

- pipa isap : $\xi_{b_i} = 0{,}73.a.b = 0{,}73.0{,}4.1 = 0{,}292$
- pipa tekan : $\xi_{b_t} = 2.0{,}73.0{,}1.0{,}65 = 0{,}949$

Entrance factor $k_{en} = 1$

Extrance factor $k_{ex} = 1$

Head losses :

$$h_e = (\lambda_i\ .\ \frac{\ell_i}{d_i} + \xi_{b_i} + k_{en})\ \frac{V_1^2}{2g} + (\lambda_t\ .\ \frac{\ell_t}{d_t} + \xi_{b_t} + k_{ex})\ \frac{V_t^2}{2g}$$

Sedang : $A_i\ .\ V_i = A_t\ .\ V_t$.

Sehingga : $h_\ell = 5497{,}81$ cm

Geodetik head sistem pemompaan

$h_g = 370$ cm

maka tekanan yang harus dilawan pompa minimal adalah :

$$p = \gamma\ (h_\ell + h_g)$$

$$= 0{,}001\ \frac{Kg}{cm^3}\ (5867{,}81)\ cm$$

$$= 5{,}87\ Kg/cm^2$$

Tenaga pompa untuk menaikkan air adalah :

$$N_p = \frac{Q \cdot p}{75} = \frac{\frac{25\ m^3}{3600\ det} \cdot 58700\ \frac{Kg}{m^2}}{75\ (\frac{Kg \cdot m}{HP \cdot det})}$$

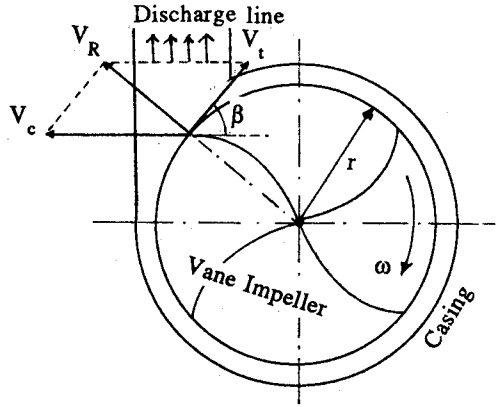
$$= 407{,}5\ (HP).$$

Tenaga penggerak pompa adalah :

$$N_{pp} = \frac{N_p}{\eta_m \cdot \eta_V} = \frac{407{,}5}{0{,}8 \cdot 0{,}8} = 636{,}72\ HP$$

2.12 FLUID PLANES ANALISYS

Kalau di atas telah sedikit disebut bahwa mesin fluida adalah mesin yang media operasinya menggunakan fluida.
Dalam konteks ini kita akan mencoba untuk menganalisa body yang bergerak dalam hubungannya dengan fluida. Berikut digambarkan sebuah pompa centrifugal yang diputar searah jarum jam.



Kita amati salah satu dari Vane impellernya. Kecepatan tangensial $V_t = \omega \cdot r$ di mana

$$\omega = \frac{2\ \pi\ n}{60}$$

Kecepatan normal pada Vane impeller :

$$V_R = V_t \cdot \sin \beta.$$

maka :

Tekanan pada discharge line adalah :

$$p = \gamma \cdot \frac{V_R^2}{2g} = \gamma \cdot \sin 2\beta \cdot \frac{V_t^2}{2g}$$

Pada dasarnya tekanan pada discharge line adalah berbanding dengan tekanan pada bidang normal Vane impeller.

Sehingga untuk ketinggian tekanan yang harus dilawan pada discharge line sebesar h, maka didapat hubungan :

$$h = \frac{(V_t \cdot \sin \beta)^2}{2g} (1 + \xi\ ov)$$

atau $$n = \frac{30}{\pi \cdot r \cdot \sin \beta} \sqrt{2g \frac{h}{(1 + \xi\ ov)}} \quad (rpm)$$

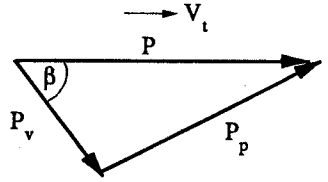
di mana n adalah minimum of pump revolution per minute, r adalah jari-jari impeller (m), β adalah sudut yang dibentuk antara kecepatan tangensial dengan impeller curve (°), h adalah discharge head (m), g adalah percepatan grafitasi bumi (m/det) dan ξ_{ov} adalah total losses factor.

Debit pompa adalah :

$Q = A \cdot V_c$, di mana

A adalah jumlah luasan Vane pada sisi mana yang menekan fluida (jadi hanya ada satu sisi) dan V_c adalah kecepatan centrifugal fluida $= V_t \cos \beta$ (m/sec).

Bila digambar dalam segitiga gaya maka :



$$P = P_v \cdot \cos\beta + P_p \sin\beta$$

$$= P_v \cdot \cos\beta + P_p \cdot \cos(90^\circ - \beta)$$

$$= P_v \cdot \cos\beta + P_p \cdot \sin\beta.$$

di mana : $P_v = \xi_{ov} \cdot \gamma \cdot A \cdot \frac{V_t^2}{2g}$ dan $P_p = p \cdot A$

di mana $p = \gamma \cdot h.$

Sehingga :

Tenaga Pemindah Fluida adalah :

$$N = \frac{P \cdot V_t}{75} \quad (HP)$$

Dari tinjauan di atas dapat diekspansikan untuk fluida plane jenis lainnya.

Contoh soal 1

Sebuah kapal dengan berat seluruh body beserta muatannya 500 . 10^3 ton.

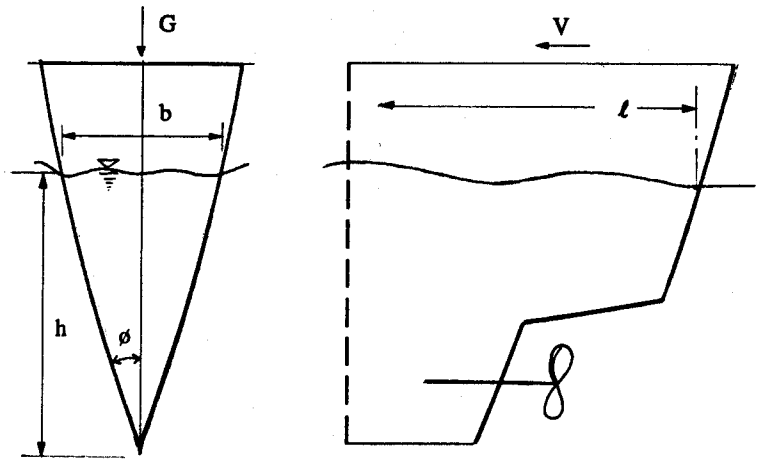
Kapal ini mampu bergerak dengan kecepatan 5 Km/jam.

Bila panjang kapal 600 m, lebar 75 m, tinggi 125 m serta sudut $\theta = 15^\circ$

Ditanya :

Tenaga penggerak kapal.

Penyelesaian :



Keseimbangan Gaya :

$$G\ (Kg) = \gamma\left(\frac{Kg}{m^3}\right) \cdot A \cdot (m^2) \cdot x$$

$$= 10^3 \cdot \ell \cdot 1/2\ h \cdot \frac{b}{2}$$

$$= 10^3 \cdot \ell \cdot 1/2\ h \cdot h \cdot tg\ \theta$$

Bila ℓ efektif diperkirakan 400 m, maka:

$500 \cdot 10^3 \cdot 10^3 = 10^3 \cdot 200 \cdot h^2 \cdot tg\ 15^\circ$

$h = 96$ m.

$b = 2h \cdot tg\ \theta = 2.96 \cdot 0{,}27 = 52$ m.

Kecepatan Kapal :

$$V = 5\ \frac{Km}{jam} = \frac{5 \cdot 10^3 \cdot m}{3600\ det} = 1{,}39\ m/det$$

Angka Reynold :

$$Re = \frac{V \cdot d}{V} = \frac{1{,}39 \cdot 26}{0{,}008 \cdot 10^{-4}} = 45{,}175 \cdot 10^{6}$$

Re > 3200, jadi turbulent

Lambung dari baja sheet, maka k' = 0,05 cm

= $0{,}05 \cdot 10^{-2}$ m

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1{,}8 \cdot \log \frac{R_e}{R_e \frac{K'}{d} + 7}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1{,}8 \cdot \log \frac{45{,}175 \cdot 10^{6}}{45{,}175 \cdot 10^{6} \cdot \frac{0{,}05 \cdot 10^{-2}}{26} + 7}$$

$\lambda = 0{,}026$

Gaya untuk melawan gesekan air dengan body:

$$P_1 = 1 \cdot \frac{\ell}{d} \cdot S \cdot \gamma \cdot \frac{V^2}{2g}$$

di mana : S = Luas dinding yang kontak dengan air tampak depan kapal

$$S = h \cdot \frac{b}{2} = 96.26$$

= $2496\ m^2$.

maka :

$$P_1 = 0{,}026 \cdot \frac{400}{26} \cdot 2496 \cdot 10^{3} \cdot \frac{(1{,}39)^2}{2 \cdot 9{,}81} = 98{,}4 \cdot 10^{3}\ Kg$$

Gaya untuk melawan tekanan air dari depan kapal :

$$P_2 = \gamma \cdot \sin^2 \theta \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \left(h \cdot \frac{b}{2}\right)$$

$$= 10^{3} \cdot 0{,}07 \cdot \frac{(1{,}39)^2}{2 \cdot 9{,}81} 96 \cdot 26 = 663{,}6\ Kg$$

Gaya hambatan total adalah :

$P = P_1 + P_2 = 99063{,}6$ Kg

Tenaga Penggerak Kapal adalah:

$$N = \frac{P : V}{75} \quad (HP)$$

$$= \frac{99063{,}6 \cdot 1{,}39}{75} = 1835{,}98\ (HP)$$

Dipakai engine penggerak dengan tenaga 2000 (HP).

Contoh soal 2

Sebuah propeller kapal dengan jumlah daun 4 buah dengan luas masing-masing 1,0 m^2.

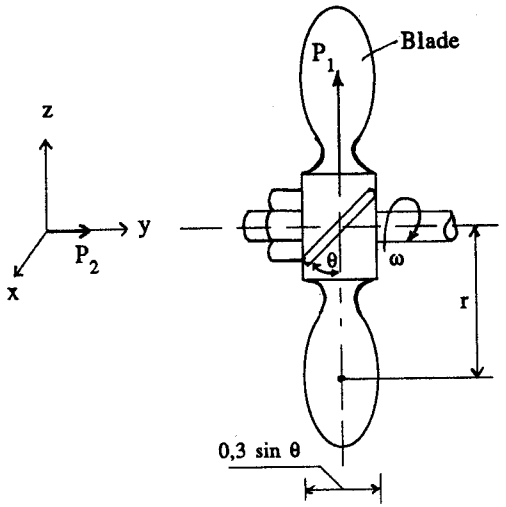
Sudut kemiringan pemasangan 15°, digerakkan pada 500 rpm.

Ditanya :

- Gaya dorong propeller ini
- Momen puntir untuk memutar propeller
- Banyaknya air yang dipindahkan tiap satuan waktu.
- Tenaga Pemutar poros.

Penyelesaian :

Kecepatan sudut :



$$\omega = \frac{2\,\pi\,n}{60} = \frac{2\,.\,\pi\,.\,500}{60}$$

$= 52{,}4$ rad/sec

Kecepatan keliling propeller rata-rata :

$V = \omega\,.\,r = 52{,}4\,.\,1/2 = 26{,}2$ m/det.

Angka Reynold :

$$Re = \frac{V\,.\,d}{V} = \frac{26{,}2\,.\,0{,}3\,.\,\sin 15^\circ}{0{,}008\,.\,10^{-4}}$$

$= 2{,}5.10^6$.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.8\,.\,\log\,\frac{R_e}{R_e\,\frac{K'}{d} + 7}$$

di mana : $K' = 0{,}05.10^{-2}$ m

$\lambda = 0{,}03$

Luas permukaan gesek = $4\,.\,1\,.\,1{,}0 = 4{,}0\ m^2$.

Gaya gesek air : $P_1 = \lambda\,.\,\frac{l}{d}\,.\,A\,.\,\frac{V^2}{2g}$

$$= 0{,}03\,.\,\frac{0{,}010}{0{,}1}\,.\,4{,}0\,.\,\frac{(26{,}2)^2}{2\,.\,9{,}81}$$

di mana : 0,010 adalah tebal blade

$P_1 = 0{,}42$ Kg.

Gaya dorong Propeller :

$$P_2 = \gamma\,.\,A\,.\,\frac{(V\,.\,\cos\theta)^2}{2g}$$

$$= 10^3\,.\,4{,}0\,.\,\frac{(25{,}3)^2}{2.\,9{,}81} = 130572\ Kg$$

Gaya Putar Poros :

$$P = P_1.\,\cos\theta + \gamma\,.\,A\,.\,\frac{(V\,.\,\sin\theta)^2}{2g}$$

$$= 0{,}4 + 10^3\,.\,4{,}0\,.\,\frac{(26{,}2\,.\,\sin 15)^2}{2\,.\,9{,}81}$$

$P = 9375$ Kg.

jadi momen puntir poros adalah $M_t = P\,.\,r$ (Kg cm)

Kecepatan Thrust (pendorongan) air adalah :

$= V.\,\cos\theta$

Banyaknya air yang dipindah:

$Q = A\,.\,V\,.\,\cos\theta = 40\,.\,26{,}2\,.\,\cos 15^\circ$

$= 101{,}23\ m^3/det$

$M_t = 9375\,.\,50 = 468750$ (Kg.cm).

Sedangkan :

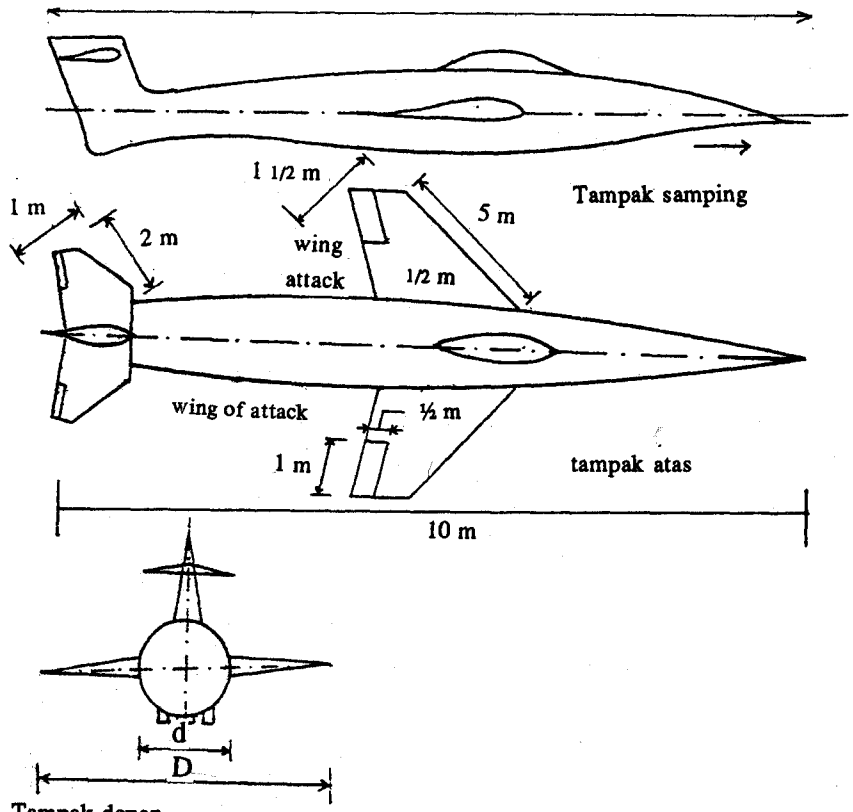
$$M_t = 71620\,.\,\frac{N}{n}$$

Jadi :

$$N = \frac{M_t \cdot n}{71620} = \frac{0{,}5 \cdot 10^6 \cdot 500}{71620} = 3500 \text{ (HP)}$$

Contoh soal 3.

Sebuah pesawat jet bergerak dengan kecepatan 450 Km/jam, luas bidang bawah sebagai pendukung adalah: 30 m^2 dan sudut serang sebesar 15°, luas seluruh permukaan tampak depan 8 m^2, panjang pesawat 10 m, d = 11/2 m, D = 6 m.



Tampak depan.

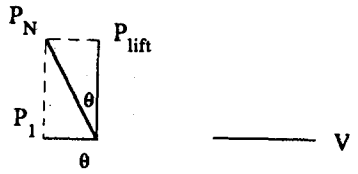
Ditanya :

- Berat total antara pesawat plus penumpang maksimum.
- Tenaga Engine Penggerak.
- Kecepatan semburan gas jet engine.

Penyelesaian

$$V = 125 \text{ m/det}$$

Gaya normal pada bidang bawah adalah :



Luas bidang bawah dari wing seluruhnya :

$$A_{wo} = 2 \cdot (11/2 \text{ m} \times 5\text{m} + 1\text{m} \times 2\text{m}) \approx 15 \text{ m2}$$

$$P_N = A_w \, (m^2) \, \gamma \left(\frac{Kg}{m^3}\right) \frac{V^2 \left(\frac{m^2}{det^2}\right)}{2 \cdot g \, (m/det^2)}$$

Gaya angkat maksimum :

$$P_{lift} = A_{Wo} \cdot \gamma \cdot \frac{(V \cos \theta)^2}{2g}$$

$$= 15 \cdot 1{,}29 \frac{(125)^2}{2 \cdot 9{,}81} = 15410 \quad (Kg)$$

Gaya sejajar arah Vektor V pada bidang bawah wing of attack :

$$P_1 = A_{w_A} \cdot \gamma \frac{(V \cdot \sin\theta)^2}{2g} \quad ; \quad A_{w_A}: \text{Luas wing atack} \approx 2 \cdot 1/2 \text{ m x } 1\text{m} \approx 1\text{m2}$$

$$= 1 \cdot 1{,}29 \cdot \frac{(32{,}35)^2}{2 \cdot 9{,}81} = 68{,}8 \text{ (Kg)}$$

Menurut grafik di atas, viscositas kinematis udara adalah :

$$V = 0{,}16 \frac{cm^2}{det} = 0{,}16.10^{-4} \frac{m^2}{det}$$

maka :

$$R_e = \frac{125 \cdot 6}{0{,}16 \cdot 10^{-4}} = 46{,}875.106.$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1{,}8 \log \frac{46{,}875 \cdot 10^6}{46{,}875 \cdot 10^6 \cdot \frac{0{,}05 \cdot 10^{-2}}{11/2} + 7}$$

$$= 0{,}026$$

Gaya hambatan gesek seluruh permukaan luar pesawat.

$$P_2 = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \gamma \cdot A_{ov} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

$$= 0{,}026 \cdot \frac{10}{11/2} \cdot 1{,}29 \cdot 8 \cdot \frac{(125)^2}{2 \cdot 9{,}81}$$

$$= 1425 \text{ Kg.}$$

Gaya hambatan oleh bidang depan pesawat:

$$P_3 = \gamma \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \frac{(V \cdot \sin\phi)^2}{2g}$$

Penyelesaian :

$$= 1{,}29 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (11/2)^2 \cdot \frac{(V \cdot \sin 5°)^2}{2 \cdot 9{,}81}$$

$$= 13{,}8 \text{ (Kg).}$$

Total gaya : $P = P_1 + P_2 + P_3$

$$= 1507{,}6 \text{ Kg.}$$

Tenaga engine penggerak :

$$N = \frac{P \cdot V}{75} = \frac{1507{,}6 \cdot 125}{75} = 2500 \text{ (HP)}$$

Gaya pendorong mesin jet P_j harus lebih besar dari P.

$$P_j = A_{n.j} (m^2) \cdot \gamma_{gas} \left(\frac{Kg}{m^3}\right) \cdot \frac{V_{gas}{}^2 \text{ (m/det)}}{2 \cdot g \text{ (m/det}^2)}$$

di mana : A_{nj} : adalah luasan total nozzle jet engine

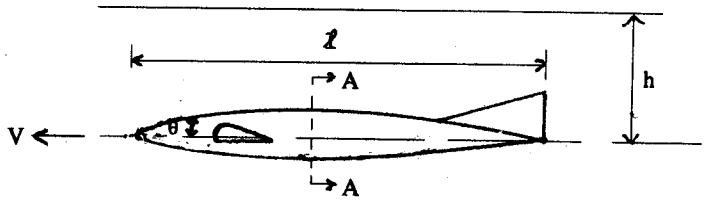
Jadi kecepatan semburan gas mesin jet adalah :

$$V = \sqrt{2g \cdot \frac{P_j}{A_{n.j} \cdot \gamma_{gas}}} \quad \text{(m/det)}$$

Contoh soal 4.

Sebuah kapal selam dengan ukuran-ukuran

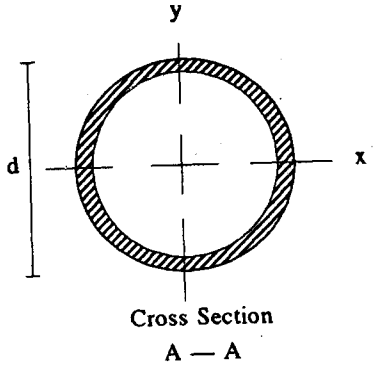
$l = 25$ m, $d = 5$ m, $\theta = 15°$



dan mampu bergerak dengan kecepatan 10 Km/jam.

Ditanya :

Tenaga Penggeraknya.



Penyelesaian :

$V = 2{,}8$ m/det.

$$Re = \frac{2{,}8 \cdot 5}{0{,}08 \cdot 10^{-4}} = 17{,}8 \cdot 10^{6}$$

maka :

$\lambda = 0{,}02$

Gaya hambatan gesek air :

$$P_1 = 0{,}02 \cdot \frac{25}{5} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 5^2 \cdot 10^3 \cdot \frac{(2{,}8)^2}{2 \cdot 9{,}81} = 784{,}2 \text{ Kg}$$

Gaya hambatan pada ujung depan :

$$P_2 = \frac{\pi}{4} \cdot 5^2 \cdot 10^3 \cdot \frac{(2{,}8 \cdot \sin 15^\circ)^2}{2 \cdot 9{,}81} = 525{,}32 \text{ Kg}$$

Gaya total yang searah dengan V adalah :

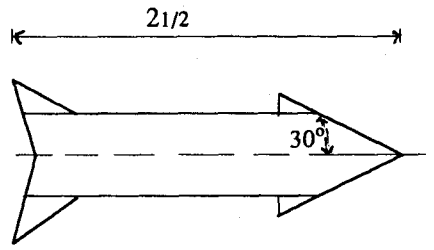
$$P = P_1 + P_2 = 1309{,}52 \text{ Kg.}$$

Tenaga Penggerak :

$$N = \frac{P \cdot V}{75} = \frac{1309{,}52 \cdot 2{,}8}{75} = 50 \text{ (HP)}$$

Contoh soal 5

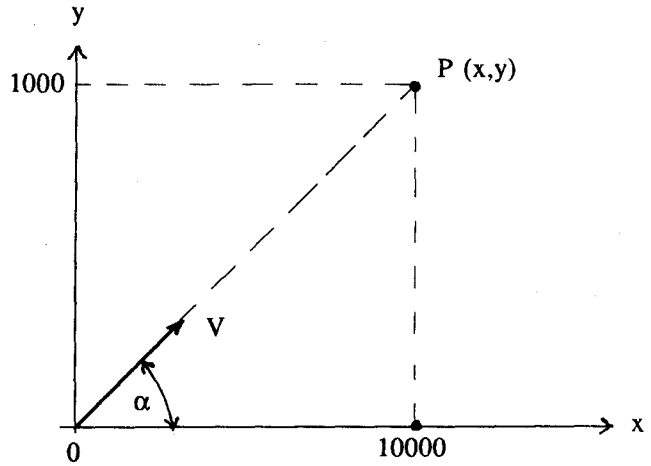
Sebuah Roket yang mempunyai bobot 100 kg dengan panjang 2 1/2 m serta diameter 25 cm, dan sudut moncongnya 30°.



Roket ini dilepaskan oleh sebuah kapal untuk menembak sasaran pada koordinat (10000m, 1000m) ditinjau dari posisi kapal ini.

Ditanya : Tenaga yang dikerahkan untuk roket tadi bila sasaran bisa dihancurkan dengan gaya 1,00 ton.

Penyelesaian :



Titik 0 adalah kapal pelepas roket dan P(x,y) adalah sasaran yang dihancurkan.

$x = V \cos \alpha \, . \, t$ dan $y = 1/2 \, g \, . \, t^2$

maka : $x = V . \cos \alpha \, . \sqrt{\frac{2y}{g}}$

di mana sudut tembakan $\alpha = 45^\circ$ (sudut optimal).

maka :

$$10000 = V \, . \, 0{,}71 \sqrt{\frac{2 \, . \, 1000}{2 \, . \, 9{,}81}}$$

Jadi kecepatan roket adalah :

$V = 986{,}42$ m/det.

Reynold Number : $Re = \frac{V \, . \, d}{V}$

$$= \frac{986{,}42 \, . \, 1/4}{0{,}16 \, . \, 10^{-4}} = 15412812{,}5$$

Mencari koeffisient hambatan

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1{,}8 \log \frac{R_e}{R_e \, . \, \frac{K'}{d} + 7}$$

untuk baja, k' = 0,005 cm

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1{,}8 \log \frac{15412812{,}5}{15412812{,}5 \, . \, \frac{0{,}005 \, . \, 10^{-2}}{0{,}25} + 7}$$

$$= 0{,}0225$$

Gaya gesek udara : $P_1 = 0{,}0225 \, . \, \frac{2\frac{1}{2}}{\frac{1}{4}} \, \frac{\pi}{4} \, . \, (\frac{1}{4})^2 . 1{,}29 . \frac{(986{,}42)^2}{2 \, . \, 9{,}81}$

$$= 774 \text{ (Kg)}$$

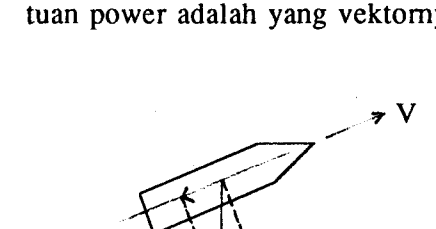
Gaya hambatan pada ujung roket :

$$P_2 = \frac{\pi}{4} \, . \, d^2 \, . \, \gamma \, \frac{(V \, . \, \sin \theta)^2}{2g}$$

$$P_2 = \frac{\pi}{4} \, . \, (1/4)^2 \, . \, 1{,}29 \, . \, \frac{(986{,}42 \, . \, \sin 30^\circ)^2}{2 \, . \, 9{,}81}$$

$P_2 = 767$ Kg.

Gaya berat sendiri roket yang perlu diperhitungkan dalam penentuan power adalah yang vektornya sejajar V yaitu :



$P_3 = w \sin \alpha$

$= 100 \, . \, \sin 45^\circ$

$= 71$ Kg.

Gaya untuk menghancurkan sasaran adalah

P4 = 1,00 ton = $1{,}00 \, . \, 10^3$ Kg

Jadi gaya total :

$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 2612$ Kg.

Tenaga untuk melepaskan roket ini adalah :

$$N = \frac{P \, . \, V}{75} = \frac{(2612) \, . \, 986{,}42}{75} = 34354 \text{ (HP)}$$

N = 35000 (HP).

3 MEKANIKA DAN PENGETAHUAN BAHAN

3.0 PENGENALAN

Kalau di dalam bab terdahulu kita telah memperbincangkan apa yang disebut tenaga, energi, momen dan gaya serta torque yang bekerja pada suatu benda. Kini agaknya perlu pula membicarakan benda yang dibebani oleh berbagai tranformasi di atas.

Berbicara masalah bendanya sendiri mau tidak mau musti timbul pertanyaan pada kita tentang ciri-ciri khusus daripada benda atau mekanisme yang dibebani di samping ciri-ciri khusus dari beban yang bekerja padanya.

Adalah suatu hal yang tidak mungkin bisa terjadi kontinyuitas kerja mesin bilamana mesin tidak mempunyai kemampuan untuk mendukung beban yang bekerja padanya guna mendukung operasi sesuai dengan harapan kita.

Keadaan yang ingin kita ciptakan adalah dengan suatu harapan bahwa mesin dipacu terhadap beban, sementara mesin mampu melaksanakan tugasnya.

Mengingat bahwa mesin bekerja atas dasar transformasi energi yang mana di dalam proses tranformasi energi tersebut timbul panas dan berhubung panas maka mampu dukung bahan menurun.

Bertitik tolak dari keadaan seperti ini maka di dalam perencanaan mesin, maka unsur panas adalah mutlak perlu diperhatikan di samping unsur beban dalam bentuk yang lain baik mekanis, electris, pneumatis maupun fluids.

3.1. MACAM DAN KARAKTERISTIK BAHAN

Bahan dasar pembuatan mesin pada umumnya adalah metal. Adapun metal ini dibedakan dalam dua group yaitu ferrous metal dan non ferrous metal.

Untuk menginginkan sifat tertentu kadang-kadang perlu dibikin paduan antara ferrous dan non ferrous.

Di dalam perencanaan mesin fluida di samping ia harus cukup kuat untuk mendukung beban maka ia harus tahan karat serta mempunyai permukaan yang halus dan dituntut kepresisian yang amat sangat.

Karena di dalam kerjanya mesin fluida ini bergesek dengan media cair, gas dan kadang-kadang bercampur dengan zat padat, maka di samping sederetan dari persyaratan di atas masih diperlukan persyaratan lagi yaitu bahwa ia harus tahan gesek.

Berhubung dengan itu maka pemilihan bahan harus benar-benar tepat.

Untuk sudut-sudut turbine air dipakai besi cor dengan 13% chroom, untuk baling-baling kapal dipakai bronz nikel alloy, untuk impeller pompa dipakai lead babbit alloys, sedangkan untuk casing (rumah impeller pompa) dipakai bahan seperti halnya body mesin perkakas dan kotak roda gigi.

Bahan yang dimaksud untuk casing adalah besi tuang kelabu. Bahan terakhir ini mempunyai sifat tahan karat karena ada grafit (abu-abu) di samping mempunyai sifat untuk menyimpan minyak pelumas dengan baik pada palung-palung grafitnya. Dan karena mempunyai palung-palung grafit di samping karena grafit menye-

babkan mengecilnya modulus elastisitas E yang memperkecil natural frequency bahan, grafit ini juga mempunyai sifat mampu meredam getaran.

Namun untuk pembuatan as (poros) pompa maupun propeller di mana dituntut dari bahan yang tahan puntiran di samping pada beberapa bagian dari as perlu dibikin tahan gesek terutama di mana bantalan luncur menumpu poros dan pada bagian yang lain harus tahan karat, maka poros dibuat dari baja chroom dengan prosentase Cr 13% ke atas.

Dalam praktek kadang-kadang pada bagian-bagian as yang perlu tahan gesek dan atau tahan karat tadi khususnya untuk as kapal maka pada bagian ini dilapisi bronz nikel alloy.

Bahan ini mempunyai sifat tahan gesek, tahan karat dan cukup kuat terhadap beban tekan.

Berhubung dengan itu maka as kapal dapat dibuat dari baja dengan pengerjaan lebih lanjut seperti diterangkan di atas. Agar tidak terjadi kekaburan pengertian maka nanti akan diterangkan apa itu baja dan apa itu baja untuk poros, baja konstruksi, baja perkakas potong (cutting tools) dan besi tuang.

Untuk bahan sudut turbin uap atau turbine gas di mana ia dituntut untuk mempertahankan kekuatannya pada temperatur tinggi di samping tahan karat, maka ia dicampur dengan nikkel di samping chroom.
Berikut ini diterangkan baja beserta perlakuan panasnya dengan pertolongan diagram keseimbangan F_e–C.

Baja adalah campuran antara ferrous dengan unsur carbon lebih kecil dari 1,7% beserta unsur-unsur lain yang dimaksudkan untuk mendapatkan sifat tertentu dari hasil paduan tersebut.

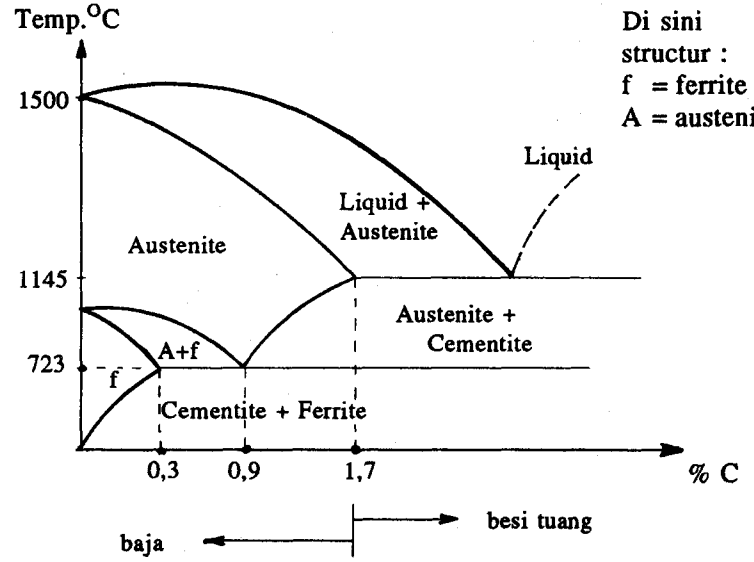
Seperti telah disebutkan di atas bahwa baja adalah campuran antara F_e dengan unsur C lebih kecil dari 1,7%, ini berarti bahwa apabila prosentase C lebih besar dari 1,7% ia disebut besi tuang.

Besar kecilnya unsur C akan berpengaruh terhadap structur metalnya.

Makin kecil unsur C structur baja semakin halus, sehingga bidang singgung antar atom-atom logamnya semakin banyak. Keadaan ini menyebabkan ia semakin ulet (ductile), akan tetapi semakin kecil % C ia semakin sulit untuk dikeraskan.

Sedang semakin besar kadar C nya maka structurnya besar-besar dan mudah dikeraskan, akan tetapi mudah patah (brittle).

Dari diagram keseimbangan baja karbon (Fe – C) terlihat bahwa panas bisa merobah structure logamnya.



Sumber : Young, hal 49, Material and Processes, Second Edition, 1953

Pada 723°C baja mulai menunjukkan perubahan structure dan pada 1550°C baja sama sekali melebur.

Ini berarti bahwa kemampuan baja menurun bila ia diberi suhu yang semakin tinggi. Salah satu tolok ukur kemampuan ba-

han adalah modulus elastisitas E ($\frac{Kg}{cm^2}$)

Untuk baja besarnya modulus elastisitas E = $2{,}15.10^6$ $\frac{Kg}{cm^2}$.

untuk besi tuang E = $1{,}15.10^6$ $\frac{Kg}{cm^2}$.

Mengingat bahwa di dalam kerjanya mesin fluida selalu bergesekan, maka di samping diperlukan pelumas (grease) terutama pada bearing, maka ia perlu dibikin dari bahan yang tahan gesek

Di samping itu ada bagian-bagian dari mesin fluida yang harus dibikin sangat keras seperti pada poros putar propeller kapal, engine, maupun pesawat.

Untuk itu maka keseluruhan dari poros terpaksa harus dikeraskan sampai intinya.

Untuk pengerasan permukaan (surface hardening) bisa ditambahkan unsur C dari luar (siementasi), akan tetapi untuk pengerasan sampai pada intinya maka siementasi kurang bisa memenuhi harapan. Untuk bisa memenuhi harapan maka dipakai quenching yaitu ia dipanaskan sampai 723°C dan didinginkan mendadak dengan fluida.

Karena pendinginan mendadak maka atom-atom C tidak sempat ke luar sehingga timbul tegangan dalam yaitu atom-atom C yang tidak mempunyai kedudukan yang baik dan akibatnya baja menjadi lebih keras.

Dua proses ini sama sekali tidak ada penambahan unsur C dari luar. Namun jenis baja yang bisa dan perlu diquenching adalah yang berkadar C lebih besar dari 0,3% dan lebih kecil dari 0,9%. Untuk baja dengan kadar C di bawah 0,3% C tidak bisa dikeraskan sampai intinya kecuali hanya permukaannya dengan penambahan unsur C. Baja jenis ini banyak dipakai untuk konstruksi bangunan static yang tidak mengalami gesekan satu sama lain.

Sedangkan untuk yang berkadar C lebih besar dari 0,9% sam-

pai 1,7% disebut baja perkakas potong, dan untuk yang berkadar C lebih besar dari 1,7 % disebut besi tuang.

Untuk baja perkakas potong dan besi tuang, bahan ini sudah mempunyai kekerasan walaupun tanpa proses perlakuan panas (Heat threatment). Oleh sebab itu kedua macam bahan terakhir ini termasuk bahan yang tahan gesekan.

Mengingat basic of fluid planes yang dibicarakan di sini cukup luas, maka berikut sedikit akan dibahas tentang metal non ferrous jenis aluminium beserta alloynya. Aluminium mempunyai berat jenis serta titik lebur yang jauh lebih kecil dibanding baja, lagi pula kemampuan dukung terhadap beban relatif kecil.

Aluminium mempunyai sifat mampu menghantarkan (konductivitas) panas dan listrik yang tinggi.

Kelebihan lain dari aluminium adalah bahwa ia tahan korosi. Mengingat kemampuannya relatif kecil, maka aluminium murni jarang dipakai di dalam konstruksi teknik.

Untuk meningkatkan kemampuan tadi, maka ia dicampur dengan

Cu : 2,2 – 5,2%

Mg : sampai dengan 1,75%

dan bahan campuran lain yang tidak disengaja seperti S_i, F_e, M_n. Campuran C_u, S_i, F_e dan M_g berpengaruh terhadap kekuatan, sedang adanya M_n berpengaruh terhadap sifat mampu impact serta mampu mempertahankan kekuatan dalam kondisi panas.
Pada umumnya aluminium dengan campuran-campuran di atas disebut dural.
Dural dapat di heat threatment.
Dural dapat dipakai sebagai pelat, paku keling yang pada umumnya dipakai sebagai bahan pembuatan body pesawat terbang.

Aluminium yang dicampur dengan S_i (8 – 14) % disebut silumin. Silumin ini mempunyai sifat mampu tuang yang baik serta tahan

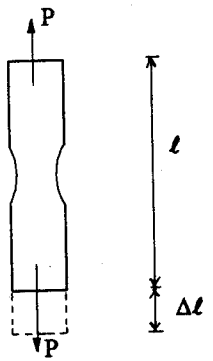
korosi. Silumin pada umumnya dipakai untuk pembuatan piston engine.

Titik cair dari alluminium alloy berkisar dari 600 – 800°C, jadi sudah bisa sedikit mengimbangi baja.

Jadi di samping untuk meningkatkan kemampuannya pada keadaan panas, campuran-campuran tadi dipakai untuk meningkatkan kemampuannya secara keseluruhan, sebab aluminium murni terbatas dengan modulus elastisitas E = $0{,}675.10^6 \frac{Kg}{cm^2}$. Jadi hampir 1/4 dari kemampuan baja.

3.2. HUKUM HOOKE DAN TEGANGAN BAHAN

Apabila kita mempunyai batang dengan panjang ℓ (m, cm), luas penampang potongan F (m^2, cm^2) yang dibebani dengan beban P (Kg) maka akan terjadi gaya antar atom-atom bahan tadi.



Semakin besar beban P, interaksi gaya antar atom tadi semakin besar pula untuk luas penampang potongan batang yang sama. Untuk luasan penampang lebih kecil, maka dengan beban yang sama, interaksi gaya antar atom menjadi besar. Interaksi gaya ini disebut tegangan atau gaya persatuan luas.

Sehingga bila ditulis dalam bentuk matematik :

$$\sigma = \frac{P}{F} \quad ,$$

di mana σ adalah tegangan yang terjadi ($\frac{Kg}{cm^2}$), P adalah gaya

yang bekerja (Kg) dan F adalah luas penampang potongan (cm^2).

Karena gaya P maka batang akan bertambah panjang. Hooke dengan rumusannya mengatakan bahwa :

$$\Delta\ell = \frac{P \,.\, I}{E \,.\, F} \quad ,$$

di mana $\Delta\ell$ adalah beda panjang (cm), P adalah gaya (beban sendiri + gaya-gaya luar) yang bekerja (Kg), ℓ adalah panjang batang sebelum dibebani (cm), F adalah luas penampang potongan batang (cm2) dan E adalah modulus elastisitas bahan (Kg/cm^2).

Bila rumus tadi kita selesaikan didapat :

$$\frac{\Delta\ell}{\ell} = \frac{\sigma}{E}$$

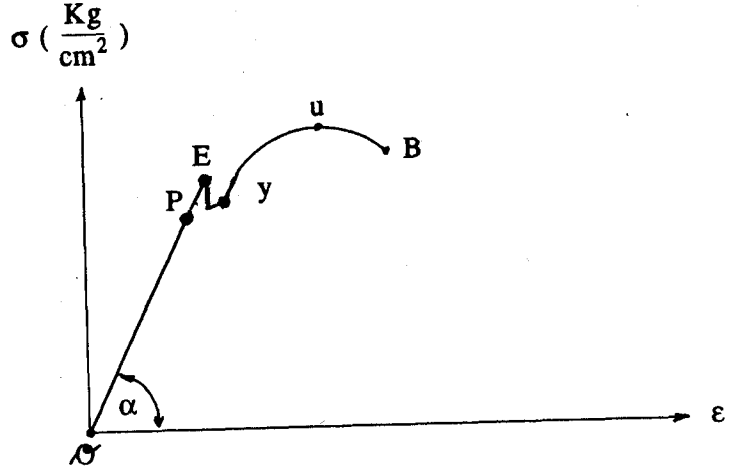
dan bila $\frac{\Delta\ell}{\ell}$ kita katakan sebagai elongation (ε) maka persamaan tersebut menjadi $\sigma = \varepsilon \,.\, E$.

Kalau kita renungkan bentuk dari persamaan terakhir ini adalah merupakan garis lurus atau umumnya disebut persamaan linier yang dalam bahasa baratnya disebut "straight line equation" dan bila diexpresikan dalam bentuk matematik bisa ditulis sebagai:

$$\sigma = f(\varepsilon).$$

Untuk baja, grafik $\sigma = f(\varepsilon)$ dapat dilihat pada gambar.

Dari grafik di bawah dapat dilihat slope atau kecondongan dari kurva. Dari grafik ini pula dapat ditarik pelajaran bahwa modulus elastisitas E adalah sama dengan tangen α, ini berarti bahwa semakin besar sudut α maka E semakin besar pula.



Titik-titik yang terletak pada grafik tersebut adalah sebagai berikut :

P adalah titik yang menyatakan tegangan proportional dari bahan. Ini berarti bila tegangan yang bekerja pada bahan dihilangkan maka batang kembali seperti keadaan semula, sehingga di titik ini tidak terjadi perubahan structur metal. E adalah tegangan batas keelastisan baja. Ini berarti bahwa setelah titik ini dilampaui maka baja sudah menjadi plastis atau tidak bisa kembali seperti semula, dus setelah titik ini dilampaui maka structur logamnya berubah.

y : adalah tegangan batas yield.
Keadaan ini terjadi karena unsur-unsur yang tidak dikehendaki misalnya sulphur sehingga tanpa penambahan beban yang berarti, bahan mengalami pemuluran.

u adalah tegangan batas ultimate.
Titik ini menyatakan tegangan batas ultimate atau tegangan maximum yang mampu didukung oleh bahan.

B adalah tegangan batas patah atau breaking strength.
Pada titik u baja dikatakan sudah kehabisan kemampuannya, oleh sebab itu setelah titik u ke kanan grafik cenderung menurun.

Hanya untuk memutuskan sama sekali, ia perlu diberikan pertambahan panjang sedikit lagi, sehingga ia putus di B.
Di pasaran dibedakan tegangan yang mampu didukung oleh bahan yaitu seperti halnya tegangan batas ultimate. Tegangan batas ultimate tadi ditulis dengan index.
Baja 60 atau ditulis st 60 adalah baja dengan tegangan yang mampu didukung maximum

$$\sigma_u = 60 \ \frac{Kg}{cm^2} = 6000 \ \frac{Kg}{cm^2}$$

Sedang untuk baja yang belum diketahui kemampuan tegangan ultimatenya disebut st 00.
Untuk pembuatan mekanisme mesin di mana ia harus bekerja dinamis maka beban hanya diperbolehkan bekerja pada daerah O ke E.
Hal ini dimaksudkan agar supaya baja tidak terjadi perubahan structure.
Untuk Konstruksi yang mengalami beban statis seperti halnya pagar, kursi, rumah, tegangan diperbolehkan bekerja hingga daerah y – u kecuali bangunan-bangunan "tahan gempa".
Untuk konstruksi yang mengalami beban yang sifatnya tetap sekalipun terjadi oscillasi dan disebut beban dinamis I seperti jembatan, tower, bangunan tahan gempa, poros dukung, lambung kapal, silinder liner, impeller, propeller; beban macam ini diperbolehkan bekerja di bawah titik E.
Dan untuk konstruksi yang mengalami beban yang berubah-ubah sifatnya (tarik-tekan-tarik-tekan) seperti halnya connecting rod, crank shaft engine; beban semacam ini disebut beban dinamis II dan diperbolehkan bekerja hanya pada daerah di bawah E pada ranges beban dinamis I lebih ke bawah lagi. Oleh karena itu perencanaan yang aman adalah bila tegangan yang terjadi akan lebih kecil atau sama dengan tegangan yang diizinkan untuk bahan.
Bila ditulis dalam bentuk matematik :

$$\sigma \leq \bar{\sigma}$$

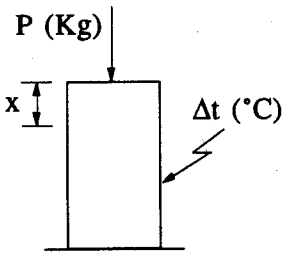
di mana $\bar{\sigma} = \frac{\sigma_u}{S_F}$ adalah tegangan yang diizinkan untuk bahan (Kg/cm^2), σu adalah tegangan maximum yang mampu mendukung bahan ($\frac{Kg}{cm^2}$), dan S_F adalah safety factor atau factor keamanan. Klassifikasi safety factor ini ditetapkan rangesnya sebagai berikut:

Untuk beban statis, S_F : 1 – 2,25
Untuk beban dynamis I, S_F : 2,25 – 5,5
Untuk beban dynamis II, S_F : 5,5 – 10

3.3. METAL DAN KARAKTERISTIK SPECIFIKNYA

Kalau tadi dibicarakan masalah tegangan, di sini kita akan membicarakan karakteristik tegangan bahan oleh unsur-unsur yang lain.
Pertama akan ditinjau perilaku tegangan baja oleh pengaruh panas.

Kalau dipunyai sebatang logam yang diberi panas Δt (°C) dan diberi beban P (Kg).



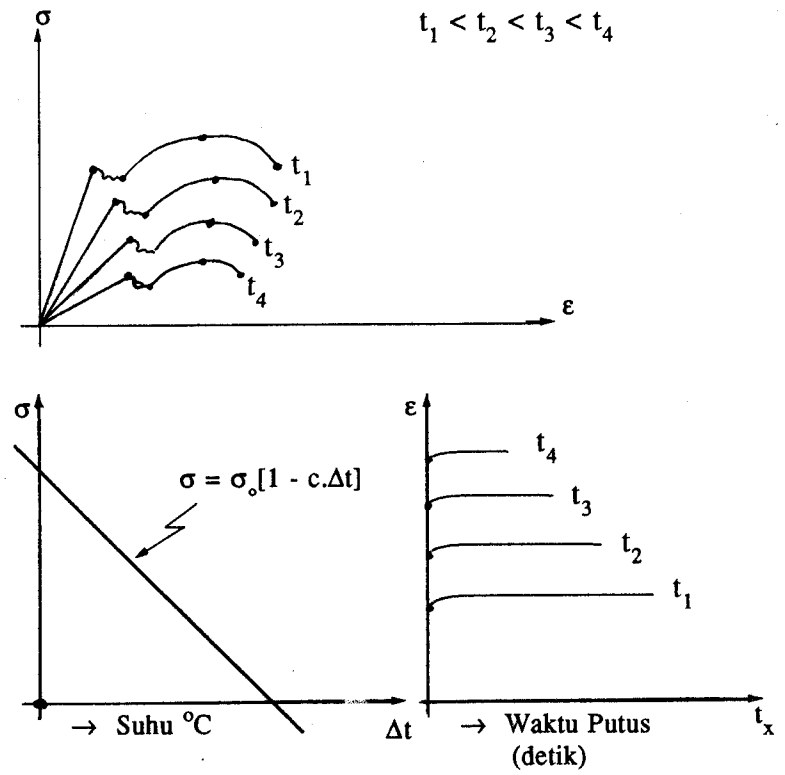
Menurut ilmu fisika media hubungan antara beban dan perubahan panjang bisa ditulis :

$$P = K.x = \frac{\gamma . F}{1 + \alpha . \Delta t} . x,$$

di mana γ adalah berat jenis bahan pada udara bebas (Kg/cm^3), α adalah koeffisient muai ruang dari bahan ($\frac{1}{°C}$) yang besarnya $3.\lambda$ di mana λ adalah koeffisient muai linier ($\frac{1}{°C}$), Δt adalah beda suhu pada bahan (°C), dan x adalah beda panjang karena beban P (cm), serta F adalah luas penampang potongan batang (cm^2). Sehingga tegangan :

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{\gamma}{1 + \alpha . \Delta t} . x$$

Dari persamaan terakhir ini cukup jelas kiranya bahwa semakin besar Δt maka σ bahan semakin mengecil. Ini berarti bahwa untuk mendapatkan harga x yang sama maka semakin besar Δt akan menenyebabkan mengecilnya harga P. Mengecilnya harga P adalah sama artinya dengan mengecilnya gaya reaksi oleh bahan itu sendiri. Mengecilnya harga ini tidak lain adalah karena menurunnya tegangan yang dipunyai oleh metal itu sendiri. Keadaan tadi untuk baja dapat digambarkan sebagai :



Dengan mempertimbangkan bahwa kenaikan suhu bisa menyebabkan penurunan tegangan yang dimiliki bahan, sementara rumus pertambahan panjang karena panas adalah ;

$$\Delta \ell = \ell \, . \, \lambda \, . \, \Delta t,$$

di mana λ adalah koeffisient muai linier bahan ($\frac{1}{^\circ C}$), ℓ adalah panjang batang pada suhu normal (cm), dan Δt adalah beda suhu pada bahan ($^\circ C$), maka :

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{\Delta \ell}{\ell} = \lambda \, . \, \Delta t$$

Secara prinsip bahwa dengan penambahan panas maka bahan seolah-olah diberi tegangan sebesar $\boxed{\sigma_x = C. \, \sigma_o . \, \Delta t}$ (Kg/cm^2). Ini berarti bahwa mampu dukung dari bahan yang dipanasi berkurang dengan $C. \, \sigma_o . \, \Delta t$.

Sehingga tegangan maximum yang mampu didukung oleh bahan adalah :

$$\boxed{\sigma = \sigma_o \, (1 - C. \, \Delta t)} \quad \frac{Kg}{cm^2} \, ,$$ 1)

di mana σ_o adalah tegangan maximum yang mampu didukung oleh bahan pada suhu kamar (Kg/cm^2), dan σ adalah tegangan maximum yang mampu didukung oleh bahan pada kondisi panas dengan beda suhu Δt.

Untuk baja, harga $C = 8{,}734.10^{-4}$ ($\frac{1}{^\circ C}$).

1) Untuk Perumusan yang lebih akurat bisa dipakai. kususnya stainless steel :

$$\boxed{\sigma = \sigma_o - 8 \, (\Delta t) - 7{,}81.10^{-3} \, (\Delta t)^2}$$

Sumber : Presentasi makalah Seminar dari Sdr. Bambang SuhadjiF.T. Mesin Unibraw, 26 April 1986

Sedang untuk alluminium alloy, harga $C = 1{,}25.10^{-3}$ ($\frac{1}{^\circ C}$).

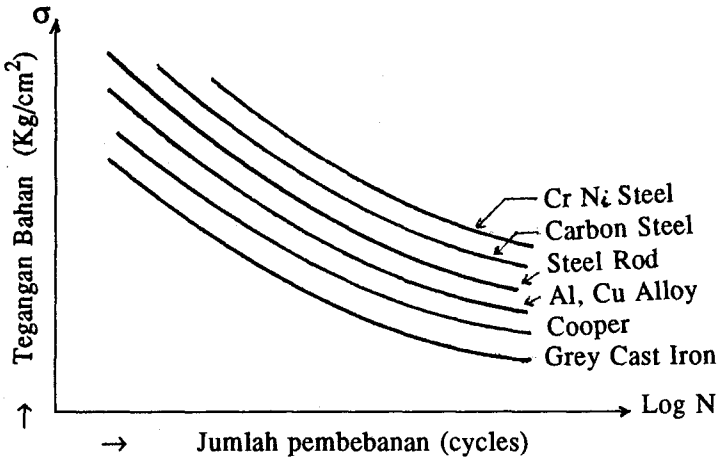
Untuk memperlengkap buku ini, berikut diberikan tabel koeffisient muai linier λ ($\frac{1}{^\circ C}$) serta modulus elastisitas bahan E (Kg/cm^2) dari berbagai jenis bahan.

Jenis Bahan (Materials)	Koeffisient muai linier, λ ($\frac{1}{^\circ C}$)	Modulus Elastisitas, E ($\frac{Kg}{cm^2}$)
Baja	$11 \, . \, 10^{-6}$	$2{,}15 \, . \, 10^6$
Tembaga	$16{,}7 \, . \, 10^{-6}$	$1{,}15 \, . \, 10^6$
Aluminium	$25{,}5 \, . \, 10^6$	$0{,}675 \, . \, 10^6$

Dari tabel di atas tampaknya ada hubungan linier negatif antara modulus elastisitas E terhadap koeffisient muai linier.

Ini berarti bahwa metal yang mempunyai koeffisient muai besar cenderung kecil modulus elastisitasnya, atau dengan kata lain bahwa metal yang mempunyai koeffisient muai linier (λ) besar justru mempunyai mampu dukung (σ) kecil. Berikutnya kita mempelajari karakterisitik tegangan bahan dalam hubungannya dengan banyaknya siklus pembebanan.
Satu siklus pembebanan adalah satu kali gerakan bolak-balik. Sejenak kalau kita renungkan seutas kawat yang ditekuk-tekuk. Semakin besar frequency (sikle pembebanan persatuan waktu) maka ia cepat patah.
Karena ditekuk-tekuk maka pada daerah tekukan terjadi konsentrasi-konsentrasi tegangan. Semakin besar gaya yang dikerahkan untuk menekuk maka ia (daerah tekukan) cepat panas dan akhirnya cepat putus, begitu pula besarnya frequency pembebanan. Semakin

besar jumlah siklus pembebanan yang sudah dicapai maka tegangan bahan akan semakin kecil. Keadaan tadi bila digambarkan :



Di dalam perencanaan mesin-mesin fluida, beban, panas dan sikles pembebanan merupakan kendala yang sama sekali tidak boleh diabaikan.

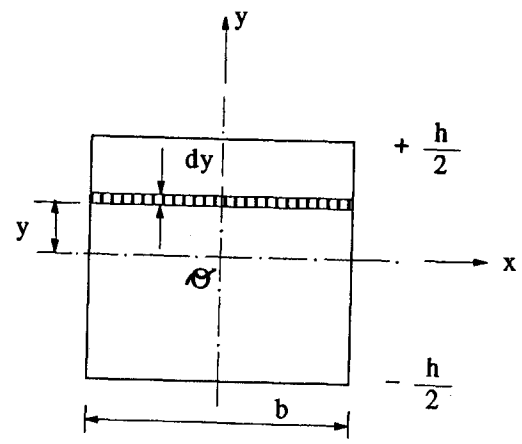
Dalam praktek, setelah sekian puluh ribu jam operasi, mesin harus sudah diganti.
Ini yang biasanya disebut umur pakai (life timer) dari mesin.

3.4. MOMEN KELEMBAMAN

Momen kelembaman adalah luasan kali jarak kuadrat. Ditulis dalam bentuk matematik :

$$I_K = \int r^2 \, . \, dF$$

Diberikan contoh tentang momen kelembaman suatu potongan terhadap sumbu x.



Diambil elemen tipis setebal dy sejauh y dari sumbu x maka momen kelembaman terhadap sumbu x adalah :

$$I_x = \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} y^2 \, . \, dF = \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} y^2 \, . \, b \, . \, dy$$

$$= \frac{1}{3} \, . \, b \, . \, y^3 \Big|_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}}$$

$$= \frac{1}{3} \, . \, b \left[\left(+ \frac{h}{2} \right)^3 - \left(- \frac{h}{2} \right)^3 \right]$$

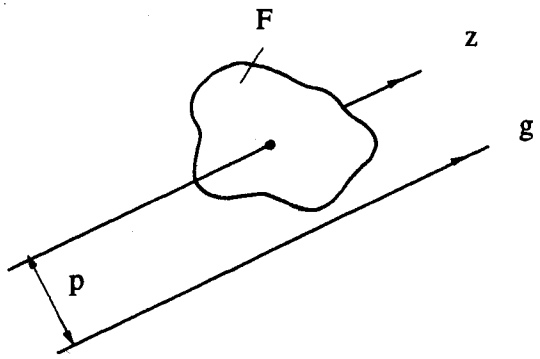
$$= \frac{1}{3} \, . \, b \left[\frac{h^3}{8} + \frac{h^3}{8} \right] = \frac{1}{12} \, b \, . \, h^3 \qquad (m^4, cm^4)$$

$$I_x = \frac{1}{12} . \, b.h^3$$

Untuk elemen tipis setebal dx yang berjarak x dari sumbu y dapat diintegralkan guna mencari momen kelembaman terhadap sumbu y, sehingga didapat :

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3.$$

Dari dua macam formulasi di atas dapat diexpansikan untuk mencari momen kelembaban luas penampang bentuk-bentuk yang lain. Tuan "Guldin" dengan dalilnya yang terkenal yaitu bahwa :



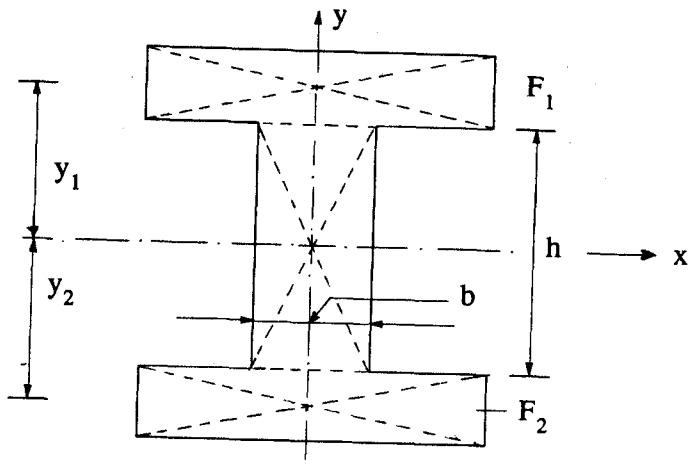
Momen kelembaman terhadap suatu garis adalah momen kelembaman terhadap garis yang ditarik sejajar (melewati titik berat luasan) terhadap garis yang dimaksud ditambah dengan jarak kuadrat (antara dua garis yang saling sejajar tersebut) dikalikan luasan.

Perlu diingat bahwa dalil Guldin ini berlaku pula pada momen inertia.
Untuk persoalan yang digambarkan di atas dapat ditulis dalam bahasa matematik :

$$I_g = I_z + p^2 \cdot F,$$

di mana F adalah luasan dan p adalah jarak.

Diberikan contoh di sini momen kelembaman terhadap sumbu x dari potongan penampang sebuah profil I.



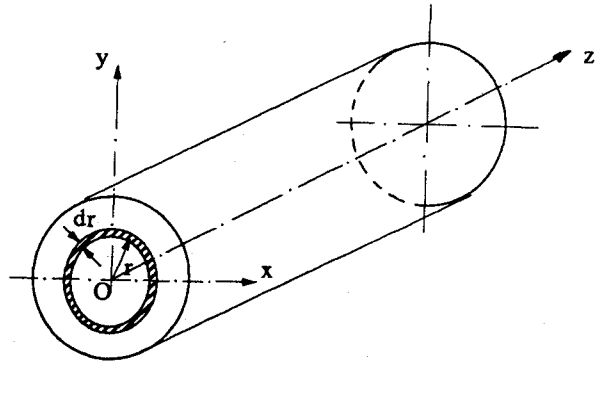
Sesuai dengan rumus di atas, maka :

$$I_x = \frac{1}{12} \cdot b.h^3 + y_1^2 \cdot F_1 + y_2^2 \cdot F_2.$$

Dalam kondisi di mana $y_1 = y_2$ dan $F_1 = F_2$ maka :

$$I_x = \frac{1}{12}.b.h^3 + 2.y^2.\ F.$$

Berikut ini akan dicoba ditinjau momen kelembaman dari sebuah silinder terhadap sumbu-sumbu koordinatnya (x,y dan z).



Momen kelembaman terhadap sumbu z adalah

$$d I_z = r^2 . 2 \pi r. dr$$

maka bila diintegralkan didapat

$$\int d I_z = \int r^2 . 2\pi r. dr$$

$$I_z = \int 2\pi . r^3 . dr = \frac{2\pi}{4} . r^4 \Big|_{r_1}^{r_2}$$

$$I_z = \frac{\pi}{2} \left(\frac{d}{2} \right)^4 \Big|_{d_1}^{d_2}$$

untuk silinder pejal, maka $I_z = \frac{\pi}{32} . d^4$

untuk silinder berlubang, maka $I_z = \frac{\pi}{32} (d_2^4 - d_1^4)$

Untuk momen kelembaman polar, mempunyai bentuk rumus yang sama dengan momen inertia polar, maka :

$$I_z = I_x + I_y$$

dan karena silinder, maka $I_x = I_y$, sehingga

$$I_z = 2 . I_x \text{ atau } I_x = 1/2. I_z.$$

jadi $I_x = I_y = \frac{\pi}{64} . d^4$ (untuk silinder pejal).

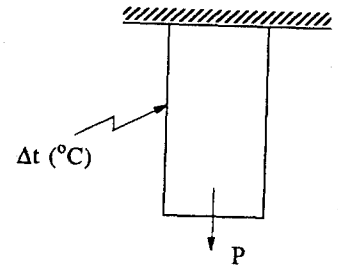
Untuk silinder berlubang, maka :

$$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} (d_2^4 - d_1^4)$$

3.5. GAYA DAN TEGANGAN TARIK

Gaya tarik adalah gaya yang bekerjanya sejajar dengan sumbu batang atau dengan kata lain bahwa gaya tarik adalah gaya yang bersifat tarik terhadap batang. Diberikan contoh sebuah gaya P (Kg) yang bekerja tarik pada suatu batang yang mempunyai luas

penampang potongan F (cm^2)



Bila padanya bekerja pula beda suhu Δt (°C) dan tegangan ultimate batang adalah σ_{u_o} (Kg/cm^2)

Ditanya : hubungan antara satu dari variabel terhadap variabel yang lain.

Penyelesaian :

Tegangan maximum yang dimiliki bahan adalah :

$$\sigma_{t_b} = \sigma_{u_o} (1 - C . \Delta t) (Kg/cm^2).$$

Tegangan tarik yang diperbolehkan pada bahan adalah :

$$\bar{\sigma}_t = \frac{\sigma_{t_b}}{S_F} = \frac{\sigma_{uo} (1 - C . \Delta t)}{S_F} \quad (Kg/cm^2)$$

Tegangan yang bekerja karena beban P adalah :

$$\sigma_t = \frac{P (Kg)}{F (cm^2)}$$

di mana S_F dipertimbangkan sesuai dengan sifat pembebanan.

Maka, Untuk konstruksi yang aman haruslah

$$\sigma_t \leq \bar{\sigma}_t$$

Sehingga :

$$\frac{P}{F} \leq \frac{\sigma_{u_o} (1 - C . \Delta t)}{S_F}$$

Jadi beban $P_{max} \leq \frac{F}{S_F} \cdot \sigma_{u_o} (1 - C \cdot \Delta t)$

Contoh soal

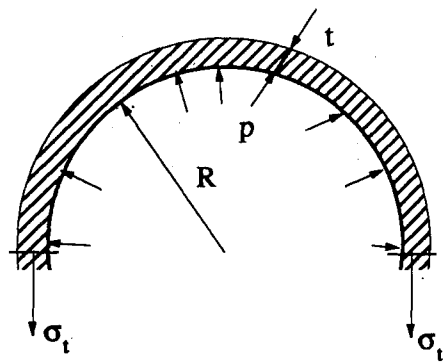
Sistem perpipaan untuk mengalirkan uap panas dari ketel uap. Bila beda temperatur antara uap yang mengalir dengan temperatur antara udara luar adalah Δt (°C), dan tekanan uap yang mengalir sebesar p ($\frac{Kg}{cm^2}$).

Ditanya : ukuran tebal pipa minimum.

Penyelesaian :

Analysa gaya-gaya yang bekerja :

Gaya Tekanan fluida panas = gaya reaksi oleh pipa.



Gambar Penampang Potongan Pipa.

maka :

$$p \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \cdot \pi \cdot R^2 \, (cm^2) = \sigma_t \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \cdot 2\pi R \, (cm) . \, t \, (cm)$$

Tegangan yang terjadi pada bahan pipa adalah :

$$\sigma_\tau = \frac{p \cdot \pi \cdot R^2}{2\pi . R . t} = \frac{p.R}{2t} \, (Kg/cm^2)$$

Tegangan yang diperbolehkan untuk bahan adalah :

$$\bar{\sigma}_t = \frac{\sigma_{u_o} (1 - C \cdot \Delta t)}{S_F} \, (Kg/cm^2)$$

Syarat cukup kuat bila :

$$\sigma_t \leq \bar{\sigma}_t$$

maka :

$$\frac{p.R}{2.t} \leq \frac{\sigma_{u_o} (1 - C \cdot \Delta t)}{S_F}$$

Sehingga :

$$t \geq \frac{p \cdot R \cdot S_F}{2 . \sigma_{u_o} (1 - C \cdot \Delta t)} \quad (cm)$$

di mana S_F adalah safety factor.

Untuk pipa di mana ia menerima tarikan saja walaupun beban tariknya berubah-ubah sesuai dengan berubah-ubahnya tekanan ketel.

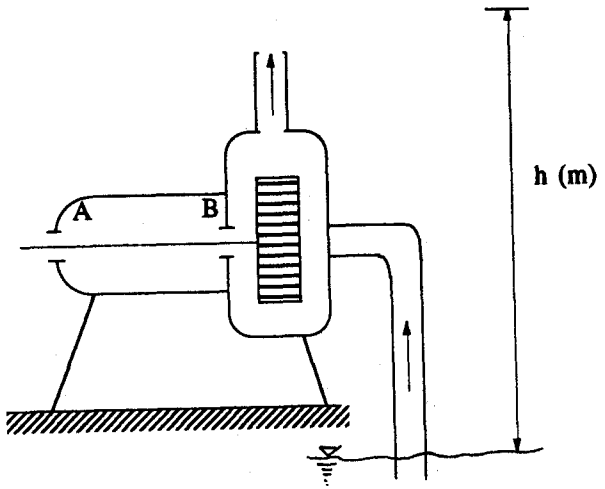
Maka S_F : 2,25 – 5 (beban dinamis I)

3.6. GAYA DAN TEGANGAN TEKAN

Gaya tekan adalah gaya yang sifat kerjanya menekan batang/ bidang.

Gaya ini arahnya merupakan kebalikan dari gaya tarik untuk batang yang relatif pendek atau relatif kecil ratio ($\frac{\ell}{d}$) nya, di mana ℓ adalah panjang batang dan d adalah diameter batang. Diberikan

contoh pemakaian perumusan tekanan.

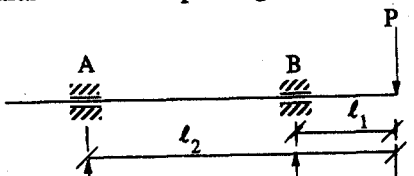


Sebuah pompa untuk mengatasi ketinggian total h (m) dengan luas penampang potongan discharge line F (m^2).

Bila pompa ini ditumpu pada 2 buah bearing, hitung tegangan tekan paka bearing. Dan dari pengalaman didapat bahwa untuk metal khususnya baja maka tegangan tekan yang diperbolehkan adalah equivalent dengan 1 1/2 kali tegangan tarik yang diperbolehkan.

Penyelesaian :

Persoalan di atas dapat digambarkan :



$\Sigma F_v = O$, maka $R_{A_v} + R_{B_v} = P$

$\Sigma M\ (A) = O$, maka : $P.\ell_2 - R_B.\ (\ell_1 + \ell_2) = 0$

$$R_B = P.\ \frac{\ell_2}{\ell_1 + \ell_2} \quad \text{dan} \quad R_{A_v} = \frac{\ell_1}{\ell_1 + \ell_2}\ .\ P.$$

di mana, gaya $P = \gamma\ (\frac{Kg}{m^3}).\ h\ (m).\ F\ (m^2)$

$$+\ \gamma\ .\ (\frac{Kg}{m^3})\ .\ (\frac{Q}{F})^2\ .\ \frac{F}{2g}\ .$$

atau :

$$P = \gamma\ [\ h\ .\ F + \frac{Q^2\ .\ F}{2\ .\ g\ .\ F^2}\ ]\ .\ (Kg).$$

Bila diameter poros adalah d (cm), maka luas bidang bearing yang mengalami beban tekan adalah $1/2\ .2.\pi.\ \frac{d}{2}.\ b$

$$= 1/2\ .\ 2\pi\ .\ \frac{d}{2}\ (cm)\ .\ b\ (cm)$$

$$F_C = 1/2\ .\ \pi\ .\ d\ .\ b\ .\ (cm^2)$$

Tegangan tekan yang diderita bearing maximum adalah di B yaitu sebesar :

$$\boxed{\sigma_c = \frac{R_B}{F_C}\ (Kg/cm^2)}$$

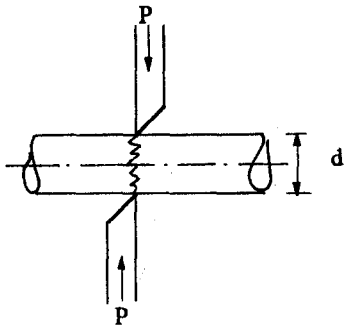
di mana b adalah lebar bearing dan Q adalah debit.

3.7. GAYA DAN TEGANGAN GESER

Gaya geser adalah gaya yang sifat kerjanya menggeser

(menggunting) luasan geser daripada benda.
Sehingga tegangan geser adalah gaya geser dibagi dengan luas penampang yang kena geser.

Berikut ini ditunjukkan sebuah poros dengan diameter d (cm) yang dibebani gaya geser P (Kg). Kita mencoba untuk mencari hubungan antara ukuran besarnya gaya P terhadap parameter-parameter pada bahan.



Luas penampang potongan melintang poros yang terkena geser adalah :

$$F_s = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \ (cm^2)$$

Tegangan geser yang terjadi pada bahan adalah :

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_s} = \frac{d}{\frac{\pi}{4} d^2} \qquad \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$$

Menurut pengalaman, tegangan geser izin bahan metal = 0,7 kali tegangan tarik izin.

Bila ditulis :

$$\bar{\sigma}_s = 0{,}7\ \bar{\sigma}_t$$

Syarat konstruksi yang cukup kuat, bila

$$\sigma_s \leq \bar{\sigma}_s$$

Sehingga untuk persoalan seperti digambarkan di atas, berlaku :

$$\frac{P}{\frac{\pi}{4} d^2} \leq 0{,}7 \cdot \bar{\sigma}_t$$

3.8. MOMEN DAN TEGANGAN BENGKOK

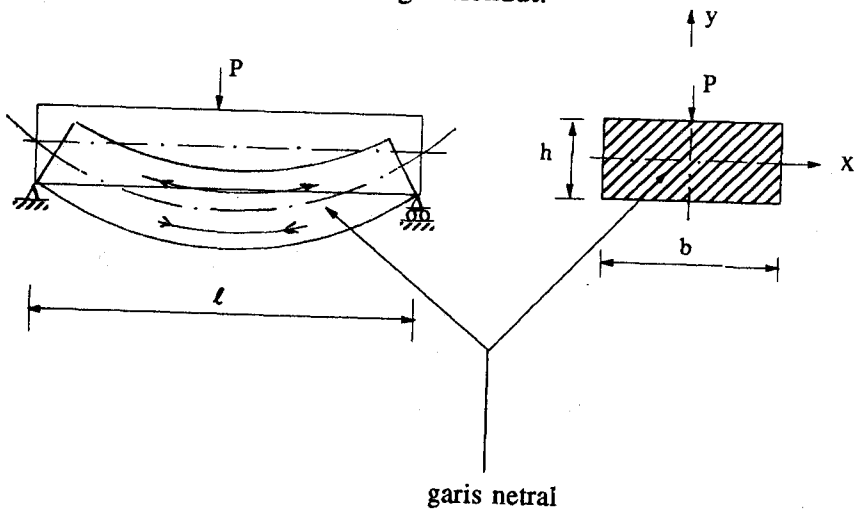
Bila di atas telah dibicarakan tentang persoalan geser. Pada pokoknya suatu beban yang bekerja pada suatu batang yang berjarak nol terhadap suatu titik tumpu disebut beban geser.
Akan tetapi apabila jarak terhadap titik tumpu tidak nol maka persoalan yang terjadi adalah persoalan bengkok.
Dalam praktek untuk kondisi jarak bukan nol, maka kita memakai apa yang disebut tegangan gabungan.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_b^2} \quad \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$$

di mana σ_b adalah tegangan bengkok yang terjadi (kg/cm^2).

Di tinjau beban p yang diberikan pada sebuah balok sepanjang ℓ di mana balok ini ditumpu di dua sisi.

Dalam persoalan yang ditinjau P bekerja tepat di tengah-tengah. Karena beban P maka batang melendut.



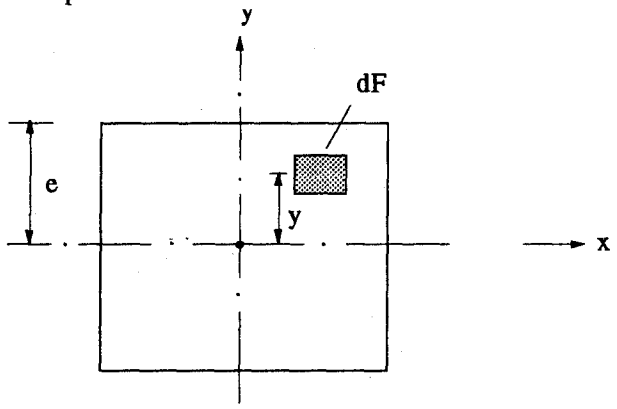
Karena melendut maka pada bagian atas memendek dan bagian bawah memanjang.

Ini berarti bagian atas mengalami tekanan sedang bagian bawah mengalami tarikan.
Garis di mana tarikan dan tekanan saling menghilangkan disebut garis netral.
Pada garis netral ini resultante tarik dan tekan sama dengan nol.

Dalam persoalan seperti digambarkan di atas garis netral adalah sumbu x sepanjang batang ℓ. Jadi lapisan netral adalah terletak pada garis yang ditarik melewati titik berat luasan penampang potongan batang dan tegak lurus arah kerja (Vektor) gaya.

Dan bila dipakai mikroskop, maka pada penampang batang tadi terlihat bentuk sabut-sabut yang halus.

Dipandang suatu sabut yang letaknya sembarang saja yang berjarak y dari lapisan netral.



Kemudian diambil differential dari luasan sabut sebesar dF (cm^2).

maka :

Tegangan pada sabut adalah σ ($\frac{Kg}{cm^2}$).

maka :

differential gaya dalam sabut adalah

$$dP = \sigma \cdot dF$$

dan differential momen terhadap lapisan netral adalah :

$$dM = y \cdot dP = y \cdot \sigma \cdot dF$$

dan bila diintegralkan didapat :

$$\int dM = \int y \cdot \sigma \cdot dF$$

$$M = \int \sigma \cdot y \cdot dF$$

Di bagian paling atas, tegangan yang terjadi disebut tegangan bengkok σ_b dan jarak teratas dari lapisan netral adalah e.

Menurut Navier :

$$\frac{\sigma}{\sigma_b} = \frac{y}{e}, \text{ maka } \sigma = \frac{\sigma_b \cdot y}{e}.$$

Sehingga :

$$M = \int \frac{\sigma_b}{e} \cdot y \cdot y \cdot dF$$

$$= \int \frac{\sigma_b}{e} \cdot y^2 \cdot dF$$

atau :

$$M = \frac{\sigma_b}{e} \cdot I_x$$

Kalau kita katakan bahwa $\frac{I_x}{e_x} = W_x = W_b$ dan disebut momen tahanan bengkok.

maka :

$$\boxed{\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}} \quad (Kg/cm^2)$$

untuk penampang berbentuk balok seperti yang digambarkan di atas maka :

$$W_{b_x} = W_x = \frac{\frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3}{\frac{1}{2} \cdot h} = \cdot \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2$$

$$W_{b_y} = W_y = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 .$$

untuk penampang lingkaran maka :

$$W_b = W_x = W_y = \frac{\frac{\pi}{64} \cdot d^4}{\frac{1}{2} \cdot d} = \cdot \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \ (cm^3)$$

Bila yang dimaksud adalah persoalan seperti digambarkan di atas, maka :

$$M_b = P \ (Kg) \ \frac{\ell}{2} \ (cm)$$

$$\sigma_b = \frac{P \cdot \frac{\ell}{2}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} \ (Kg/cm^2)$$

Syarat aman terhadap bengkok bila :

$$\sigma_b \leq \bar{\sigma}_b$$

Untuk baja, maka :

$$\bar{\sigma}_b \approx \bar{\sigma}_t = \frac{\sigma_u}{S_F}$$

Sehingga :

$$\bar{\sigma}_b \geq \frac{P \cdot \frac{\ell}{2}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2}$$

Dengan diketahuinya ukuran-ukuran P, ℓ, tegangan yang diizinkan untuk bahan balok, maka b dan h dapat dicari, begitu pula sebaliknya.

Untuk penampang bulat, maka :

$$\sigma_b \geq \frac{P \cdot \frac{\ell}{2}}{\frac{\pi}{32} \cdot d^2}$$

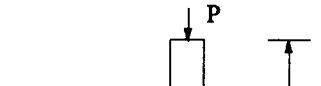
atau : $d \geq \sqrt[3]{\frac{P \cdot \frac{\ell}{2} \cdot \frac{32}{\pi}}{\bar{\sigma}_b}}$ (cm)

di mana $\bar{\sigma}_b$ adalah tegangan bengkok yang diperbolehkan untuk bahan batang ($\frac{Kg}{cm^2}$) dan P adalah berat sendiri ditambah beban gaya luar serta gaya-gaya dinamis.

3.9. TEKUKAN

Pada pembicaraan di muka kita telah membicarakan tekan. Untuk gaya yang bekerjanya seperti gaya tekan di mana gaya itu vektornya sejajar sumbu batang sedang rasio ($\frac{\ell}{d}$) nya relatif lebih besar dari angka 1, maka gaya tadi disebut tekuk.
Untuk persoalan tekukan, Euler dengan rumusnya :

$$\boxed{P_a = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{\ell^2}}$$



di mana $P_a = P.S_F$, P_a adalah gaya yang memungkinkan terjadinya penekukan batang (Kg), p adalah gaya yang diperbolehkan bekerja di sana (Kg), S_F adalah faktor keamanan, I adalah momen kelembaman terhadap sumbu netral bengkok (cm^4, m^4) dan ℓ adalah panjang batang (cm).

Diberikan contoh beban tekuk P (Kg) yang bekerja pada batang panjang I (cm), cross section area F (cm^2), di samping itu batang tadi dikenai panas Δt (°C).

Bila bahan adalah baja, coba anda cari dependent variable dalam kontex ini.

penyelesaian :

Tegangan tekuk yang bekerja :

$$\sigma_{tk} = \frac{P}{F} \quad (Kg/cm^2)$$

Menurut Euler bisa diexpansikan :

$$\sigma_{tk} = \left(\frac{\pi^2 . E . I}{\ell^2 . F} - C . \sigma_o . \Delta t \right) \frac{1}{S_F}$$

Syarat kuatnya batang bila :

$$\sigma_{tk} \leq \bar{\sigma}_{TK}$$

atau :

$$\frac{P}{F} \leq \left(\frac{\pi^2 . E . I}{\ell^2 . F} - C . \sigma_o . \Delta t \right) \frac{1}{S_F}$$

Sehingga :

$$P \leq \frac{1}{S_F} \left(\frac{\pi^2 . E . I}{\ell^2} - F . C . \sigma_o . \Delta t \right)$$

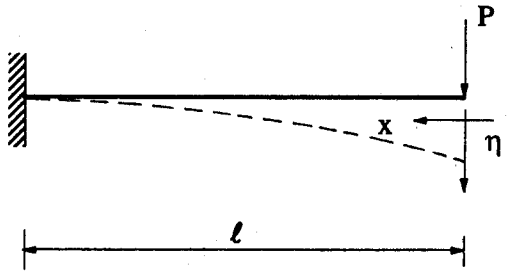
3.10. L E N T U R A N

Seperti telah disebutkan di muka bahwa momen adalah gaya dikalikan jarak antara titik di mana gaya itu bekerja terhadap suatu titik yang dimaksudkan di mana ukuran besarnya momen tersebut dihitung.
Lenturan di dalam prakteknya adalah disebabkan oleh adanya momen lengkung yang bekerja pada suatu batang.
Dalam persoalan lenturan, Euler dengan rumusnya :

$$\eta'' = - \frac{M}{E . I}$$

di mana M adalah momen lengkung yang bekerja (Kg.cm), E adalah modulus elastisitas bahan (Kg/cm^2), I adalah momen kelembaman terhadap sumbu netral dari cross section area ditinjau terhadap kemungkinan lengkungannya (cm^4), η'' adalah persamaan garis elastisitas, η'adalah merupakan sudut lentur, dan η adalah integral dari η' yang tidak lain adalah merupakan lenturannya.

Berikut akan ditinjau lenturan dari sebuah batang yang dipasang centilever dan diberi beban p pada ujung paling kanan.



Dalam persoalan ini akan dicari lenturan yang terjadi pada ujung paling kanan di mana gaya P bekerja.
Diperjanjikan bahwa untuk gaya yang bekerja pada suatu batang sedemikian sehingga bila diassumsikan terjadi curah hujan yang arah vektornya sama dengan gaya P yang mana keadaan ini bisa

menyebabkan air hujan tadi tumpah, maka momen yang bekerja disebut negatif.

Sehingga :

$$\eta'' = -\frac{M}{E.I} \quad \text{dan } M = -P \cdot x.$$

maka

$$\eta'' = \frac{P \cdot x}{E.I}, \text{ dan bila diintegralkan}$$

$$\eta' = \int \frac{P \cdot x}{E.I} \cdot dx$$

$$= \frac{P}{E.I} \cdot 1/2 \cdot x^2 + C_1, \text{ dan bila diintegralkan lagi didapat:}$$

$$\eta = \frac{P}{6\,E.I} \cdot x^3 + C_1 \cdot x + C_2,$$

di mana C_1 dan C_2 dicari dari kondisi-kondisi pembatas

$$\eta'_{(x=\ell)} = 0, \text{ maka : } C_1 = -\frac{P}{2\,E.I} \cdot \ell^2$$

$$\eta_{(x=\ell)} = 0, \text{ maka}$$

$$0 = \frac{P}{6\,EI} \cdot \ell^3 - \frac{P}{2\,EI} \cdot \ell^2 \cdot \ell + C_2$$

$$\text{jadi : } C_2 = \frac{P}{2\,EI} \cdot \ell^3 - \frac{P}{6\,EI} \cdot \ell^3 = \frac{1}{3\,EI} \cdot P \cdot \ell^3$$

Sehingga, lenturan :

$$\eta = \frac{P}{6\,EI} \cdot x^3 - \frac{P}{2\,EI} \cdot \ell^2 \cdot x + \frac{P}{3\,EI} \cdot \ell^3$$

$$= \frac{P}{3\,EI} \left(1/2\, x^3 - \frac{3}{2}\, \ell^2 \cdot x + \ell^3\right)$$

Lenturan maximum pada x = 0, maka :

$$\eta_{max} = \eta_{(x=0)} = \frac{P \cdot \ell^3}{6\,EI}$$

Selayang bila diamati persamaan terakhir ini dapat ditulis :

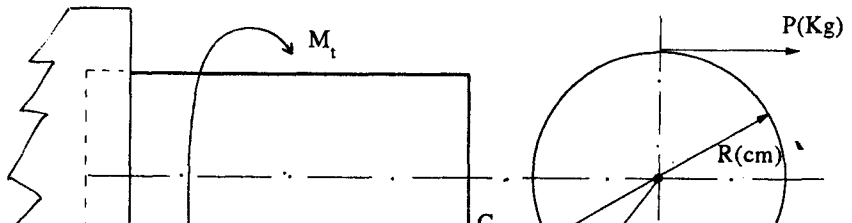
$$P = \frac{3\,EI}{\ell^3} \cdot \eta$$

dan ternyata bahwa η adalah tidak lain merupakan pergeseran titik dari posisi semula ke posisi yang baru. Atau dengan kata lain bahwa :

$\frac{3\,EI}{\ell^3}$ adalah sama dengan konstanta pegas k equivalent untuk system lever seperti gambar di atas.

3.11. MOMEN DAN TEGANGAN PUNTIR

Sebuah batang yang dijepit di salah satu ujungnya sedang di ujung yang lain dipuntir oleh gaya puntir (gaya kopel/gaya pasangan) P.



Kalau ditinjau gambar di atas, dari sini terlihat bahwa sebelum dipuntir, ab sejajar sumbu poros, dan setelah dipuntir b bergeser ke c sementara a tetap. Ini berarti ada pergeseran titik b ke posisi yang baru yaitu di c.

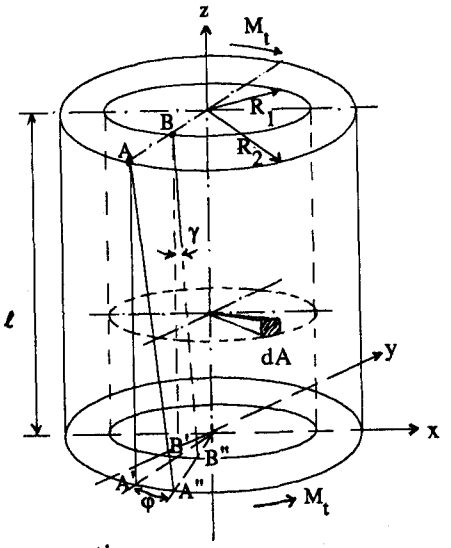
Sudut yang dibentuk oleh pergeseran titik ini disebut sudut puntir (φ)

Menurut Hooke, adanya momen puntir maka akan terjadi sudut specifik.

$$\gamma = \frac{\tau_t}{G},$$

di mana τ_t adalah tegangan puntir yang terjadi ($\frac{Kg}{cm^2}$) dan G adalah modulus elastisitas geser dari bahan yang dipuntir (Kg/cm^2).

Untuk baja, $G = 0{,}8.10^6$ Kg/cm^2.



Bila diikuti gambar berikut di mana Busur $\overline{A'A''}$ kita lihat, maka didapat

$$\ell \cdot \gamma = r_1 \cdot \varphi$$

Sehingga :

$$\gamma = \frac{r_1 \cdot \varphi}{\ell}$$

Momen puntir :

$$\tau_t = \gamma \cdot G = \frac{r_1 \cdot \varphi \cdot g}{\ell}, \text{ dan untuk } r_1 = R$$

didapat :

$$\tau_t = \frac{R \cdot \varphi \cdot G}{\ell}$$

Momen puntir yang terjadi :

M_t = gaya puntir (Kg) kali jari-jari (cm).

= Tegangan puntir x luas x jari-jari

$$= \int_0^R \tau_t \cdot dF \cdot r = \int_0^R \tau_t \cdot \frac{1}{r} \cdot r^2 \cdot dF$$

atau $M_t = \frac{\tau_t}{R} \cdot I_p$, sehingga

$$\tau_t = \frac{M_t}{I_p \cdot \frac{1}{R}} \ (Kg/cm^2), \text{ di mana}$$

$\frac{I_P}{R}$ adalah momen tahanan puntir atau dengan kata lain momen tahannan polar dan diberi symbol W_t (cm^3)

Sehingga ditulis :

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} \ (Kg/cm^2)$$

Dari $\tau_t = \frac{M_t \cdot R}{I_p}$ dan $\tau_t = \frac{R.\varphi.G}{\ell}$

didapat : $\varphi = \frac{M_t \cdot \ell}{G \cdot I_p}$

di mana φ adalah sudut puntir specifik yang terjadi; dan diperbolehkan maximum $1/4^o$ tiap panjang ℓ = 1 meter.

Persamaan terakhir ini bisa ditulis :

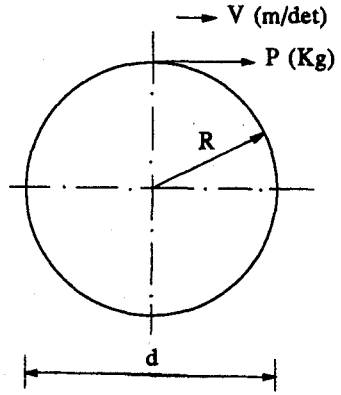
$$M_t = \frac{G.I_p}{\ell} \cdot \varphi$$

di mana $\varphi = \theta$ dan bisa ditulis :

$$M_t = K_t \cdot \theta.$$

di mana $K_t = \frac{G.I_p}{\ell}$ ($\frac{Kg.cm}{rad}$) yang tidak lain adalah merupakan torsional spring konstanta equivalent.

Dan kini akan dikaji hubungan antara momen puntir dalam hubungannya dengan tenaga serta jumlah putaran perminute n (rpm).



Katakan saja momen puntir bekerja pada poros.

Di sini :

M_t = P (Kg). R (cm) Gaya keliling P (Kg) dan kecepatan keliling V (m/det)

maka :

V = n(rpm). π. d (cm)

$= \frac{n}{60} \cdot \frac{\pi \cdot d}{100}$ (m/det)

Sehingga, tenaga :

$$N = \frac{P.V}{75} = \frac{P\frac{n}{60}\cdot\frac{\pi.d}{100}}{75}$$

$$= \frac{P.2\pi.R.n}{60.100.75} = \frac{P.R.n}{\frac{60,75.100}{2\pi}} = \frac{M_t.n}{71620}$$

jadi :

$$M_t = 71620 \frac{N}{n} \quad (Kg.cm).$$

di mana N adalah tenaga pada poros (HP) dan n adalah banyaknya putaran poros per menit (rpm).

Contoh soal 1 :

Berikut diberikan contoh sebuah poros output untuk memutar peralatan dengan daya N (HP) pada putaran N(rpm). Bila panas juga bekerja pada poros ini dengan Δt (°C).

Ditanya : ukuran poros output tersebut.

Penyelesaian :

Momen puntir yang terjadi :

$$M_t = 71620 \frac{N}{n} \quad (Kg.cm)$$

Syarat kuat, maka :

$$M_t \leq W_t \cdot \bar{\tau}_t$$

Sehingga : $71620 \frac{N}{n} \leq \frac{\pi}{16} \cdot d^3 \cdot \bar{\tau}_t$.

Menurut pengalaman :

$$\bar{\tau}_t = 0,5\ \bar{\sigma}_t = 0,5.\ \frac{\sigma_u}{S_F}$$

Karena panas maka :

$$\tau_t = 0,5.\frac{\sigma_u}{S_F}\ (1 - C.\ \Delta t)$$

Sehingga :

$$d \geq \sqrt{\frac{16.17620.N}{n.\pi.0{,}5\ \frac{\sigma_u}{S_F}\ (1-C.\Delta t)}} \quad (cm)$$

Contoh soal 2.

Sebuah as propeller kapal dengan panjang ℓ (cm). Gaya untuk mendorong kapal pada kecepatan yang diharapkan adalah P (Kg). Bila daya yang ditransmisikan untuk menggerakan kapal adalah N (HP) pada putaran (rpm).

Ditanya : Ukuran as tadi.

Penyelesaian :

Momen puntir yang terjadi adalah :

$$M_t = 71620\ \frac{N}{n} \quad (Kg.cm)$$

Tegangan puntir yang terjadi :

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} = \frac{71620.\frac{N}{n}}{\frac{\pi}{16}.d^3} \quad (Kg.cm^2)$$

Tegangan tekuk yang terjadi :

$$\sigma_{tk} = \frac{P}{\frac{\pi}{4}.d^3} = \frac{\pi^2.E.I_x}{\ell^2.\frac{\pi}{4}.d^3} \quad \left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$$

di mana $I_x = \frac{\pi}{64}.d^4\ (cm^4)$.

Tegangan gabungan :

$$\sigma = \sqrt{\tau_t^2 + \sigma_{tk}^2} = \sqrt{\left(\frac{71620.\frac{N}{n}}{\frac{\pi}{16}.d^3}\right)^2 + \left(\frac{\pi^2.E.I_x}{\ell^2.\frac{\pi}{4}.d^3}\right)^2}$$

atau :

$$= \sqrt{\left(\frac{71620.\frac{N}{n}}{\frac{\pi}{16}.d^3}\right)^2 + \left(\frac{P}{\frac{\pi}{4}.d^3}\right)^2}$$

Tegangan putir yang diizinkan :

$$\bar{\tau}_t = 0{,}5\ .\ \frac{\sigma_u}{S_F}$$

Syarat kuat bila : $\tau \leq \bar{\tau}_t$

maka :

$$\sqrt{\left(\frac{71620.\frac{N}{n}}{\frac{\pi}{16}.d^3}\right)^2 + \left(\frac{P}{\frac{\pi}{4}.d^3}\right)^2} \leq 0{,}5\ .\ \frac{\sigma_u}{S_F}$$

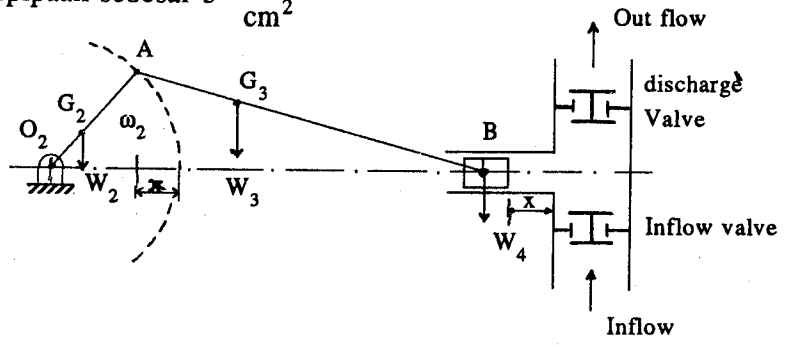
Dari sini didapatkan ukuran diameter d.

Setelah d ketemu dapat dipakai untuk mencari ukuran ℓ dari hubungan :

$$\frac{P}{\frac{\pi}{4}.d^3} \leq \frac{\pi^2.E.I_x}{\ell^2.\frac{\pi}{4}.d^3.S_F}$$

Contoh soal 3.

Sebuah pompa flunyer bekerja untuk melawan tekanan sistem perpipaan sebesar 5 $\frac{Kg}{cm^2}$



Bila diketahui Koordinat titik berat bagian-bagian adalah G_i dan :

Berat Crank $W_2 = 2$ Kg, $\overline{O_2G_2} = \frac{1}{3} . \overline{O_2A} = 4$ cm

Berat connecting Rod $W_{cr} = \frac{3}{4}$ Kg, $\overline{AG_3} = \frac{1}{3} \overline{AB} = 5$ cm

Berat plunyer $W_4 = 1/2$ Kg, $\emptyset_{plunyer} = 5$ cm.

Kerugian-kerugian sementara ini diabaikan.

Ditanya : 1. Energi untuk memutar Crank.
2. Motor Penggerak Pompa.

Penyelesaian

Connecting rod dianggap $\frac{1}{3}$ bagian berat terkonsentrasi di piston dan $\frac{2}{3}$ bagian berat terkonsentrasi di Crank.

Sehingga :

Berat Crank assume : $W_{cr} = 2 + \frac{2}{3} . \frac{3}{4} = 21/2$ Kg

Berat piston assume : $W_p = 1/2 + \frac{1}{3} . \frac{3}{4} = \frac{3}{4}$ Kg.

1. Energi Pemutar Crank

Momen Inertia Crank $I_{cr} = \frac{1}{3} . 21/2 . \frac{1}{981} . 4^2 = 0{,}014$ Kg.cm.det^2

Massa Piston $m_p = \frac{3}{4} . \frac{1}{981} = 0{,}00077 \frac{Kg.det^2}{cm}$

Energi untuk menggerakkan mekanisme pompa saja adalah :

$E_1 = 1/2\ I_{cr} . \omega^2 + 1/2 . m_p . (\omega . \overline{O_2A})^2$

$= 0{,}06244 . \omega^2$ (Kg.cm)

Energi untuk menggerakan fluidanya saja adalah :

$E_2 = P . x.$

$= p . F (\overline{2 . O_2A})$

$= \gamma . \frac{V^2}{2g} . F . 2 . \overline{O_2A}.$

$= \frac{1}{2} . \frac{\gamma}{g} . (2 . \overline{O_2A}) . F . V^2$; di mana $\frac{\gamma}{g} . (2 . \overline{O_2A}) F = m$

$= \frac{1}{2} . \frac{10^{-3}}{981} . (2 . 12) . \frac{\pi}{4} . 5^2 . (\omega . 12)^2$

$= 0{,}35 . \omega^2.$

$E = E_1 + E_2 = 0{,}1\ \omega^2.$

Sedangkan $p = \gamma . \frac{v^2}{2g}$

$5 = 10^{-3} . \frac{(\omega . \overline{O_2A})^2}{2 . 981}$

$5 = 10^{-3} . \frac{(\omega^2 . 144)}{2 . 981}$

maka $\omega = 261$ rad/sec.

maka energi untuk memutar Crank adalah

$E = 0{,}1 . (261)^2 = 13630{,}125$ Kg.cm.

$E = 136{,}30125$ Kg.m.

2. Motor Penggerak pompa

Tenaga untuk menggerakkan mekanisme pompanya saja adalah dicari dari rumus yang sebagian dari penjabarannya diberikan di atas.

$M_t = 71620 \frac{N}{n}$ dan $M_t = I_i . \alpha$

sedang $\alpha_{max} = \omega^2$

maka $N_1 = I_i . \omega^2 . n . \frac{1}{71620}$

$N_1 = \{0{,}014.\omega^2 + 0{,}00077. (\omega.\overline{O_2A})^2\} \frac{30}{\pi} . \omega . \frac{1}{71620}$

$= (953{,}69 + 15{,}034). \frac{30}{\pi} . 261. \frac{1}{71620}$

$= 33{,}71$ (HP).

Kecepatan fluida : $V = \omega . \overline{O_2A}$

$= 261.12 = 3132$ cm/det

$= 31{,}32$ m/det.

Tenaga untuk menggerakkan fluidanya saja adalah :

$$N_2 = \frac{P\ (Kg) . V\ (m/det)}{75\ (\frac{Kg.m}{HP.det})}$$

$$= \frac{5.\frac{\pi}{4}. 25. 31{,}32.}{75} \approx 41\ (HP)$$

Total Tenaga : $N = N_1 + N_2 \approx 75$ (HP).

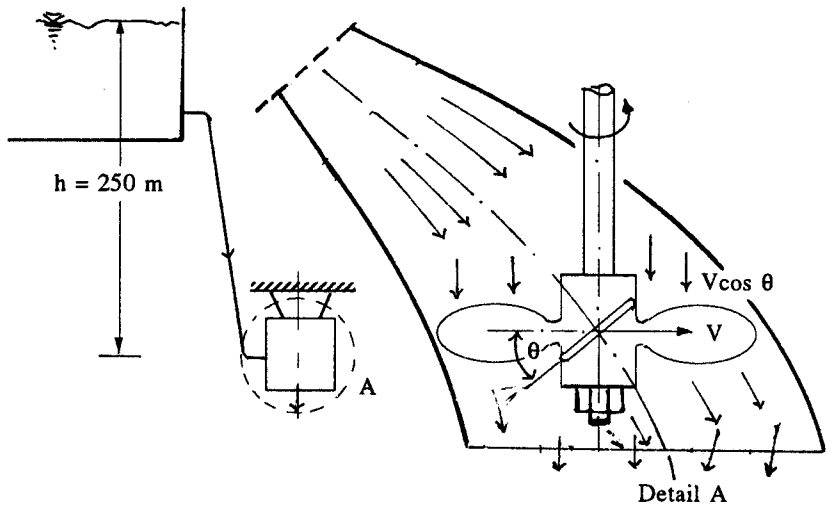
Rpm motor : $n = \frac{30}{\pi} . \omega = 2500$ (rpm).

Jadi dipilih motor penggerak dengan power output 75 HP pada putaran 2500 rpm.

Contoh soal 4

Stasiun penggerak listrik memanfaatkan air ketinggian 250 m dan pipa pesat dengan diameter 2 m serta skets installasi sebagai berikut :

Panjang pipa seluruhnya 350 m.
Sudut kemiringan sudut turbin axial $\theta = 15^0$.



Ditanya :
- Kecepatan Runner Turbine.
- Ukuran-ukuran utama sudut propeller
- Tenaga effective turbine, bila dianggap debit sumber mencukupi.

Penyelesaian :

Kekekalan Energi Praktis :

$$250 = (\lambda.\frac{350}{2} + 1 + 1 + 1 + 1 + \lambda.\frac{4.1/2}{1}) \frac{(V \cos\theta)^2}{2g} \quad ...(1)$$

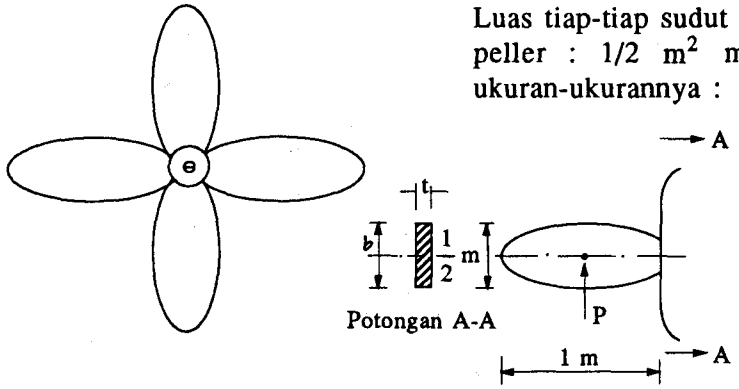
$$R_e = \frac{V.\cos\theta.d}{\upsilon} \quad ... (2)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1{,}8.\ \log \frac{R_e}{R_e.\frac{K'}{d} + 7} \quad \ldots\ldots\ (3)$$

Setelah ditrial dengan persamaan (1), (2) dan (3) didapat harga λ = 0,024 dan V cos θ = 24,4 m/det.

Jadi kecepatan putar runner turbine (jenis axial flow) ini adalah :

V = 25,26 m/det



Luas tiap-tiap sudut propeller : 1/2 m^2 maka ukuran-ukurannya :

Gaya normal bidang daun propeller :

$$p = \gamma\ .\ F.\ \frac{V^2}{2g} = 10^3.\ 1/2.\ \frac{(25{,}26)^2}{2.\ 9{,}18} = 16260{,}64\ \text{Kg.}$$

Momen bengkok M_b = 16260,64.50 cm = 813032 Kg.cm

Tinjauan penampang kritis : A – A.

Untuk bahan kuningan : $\sigma_b \approx 500\ \text{Kg/cm}^2$

maka :

$$500 \geq \frac{813032}{W_x}\ ,\ \text{di mana : } W_x = \frac{1}{6}\ b.t^2$$

$$\frac{1}{6}\ .\ b.t^2 \geq 1626$$

Dengan menetapkan b = 25 cm, maka :

t = 20 cm.

Tinggi effectif :

$$h_{ef} = \frac{(V \cos \theta)^2}{2g} = \frac{(24{,}4)^2}{2.9{,}81} = 30{,}34\ \text{m.}$$

Debit air :

$$Q = 2\ .\ 24{,}4 = 48{,}8\ \text{m}^3/\text{det}$$

Tenaga effectif Turbine adalah :

$$N = \frac{0{,}6.\ 48{,}8\ .\ 10^3.\ 30{,}34}{75} = 18844{,}74\ \text{(HP)}$$

Contoh soal 5

Pompa axial flow adalah mereflexikan turbine axial flow yang diputar berlawanan.

Bila yang dimaksud adalah turbine dalam soal nomor 4 yang diputar berlawanan pada 25,26 m/det, debit 48,8 m^3/det dan h = 250 m.

Ditanya : – Ukuran-ukuran utama Propeller
– Tenaga Penggerak Pompa.

Penyelesaian :

$$\text{Head losses} = (177.0{,}24 + 4)\ \frac{(\cos \theta)^2}{2g}$$

$$h_\ell = 250{,}28\ \text{m.}$$

Total head : h = 500,28 m.

Gaya pada bidang normal masing-masing propeller :

$$p = \gamma . F, \quad \frac{h}{\cos^2 \theta} = 1000.1/2. \left(\frac{500,28}{0,93}\right) = 540000 \text{ Kg}$$

$P = 5,4.10^5$ Kg.

Tinjauan Kekuatan Propeller :

$$500 \geq \frac{5,4.10^5.50}{\frac{1}{6}.b.t^2}$$

Ditentukan b = t = 148 cm.

Tenaga Penggerak pompa :

$$N = \frac{48,8.10^3.500,28}{\eta_m \cdot \eta_v \cdot 75} = 4,25.10^5 \text{ (HP)}$$

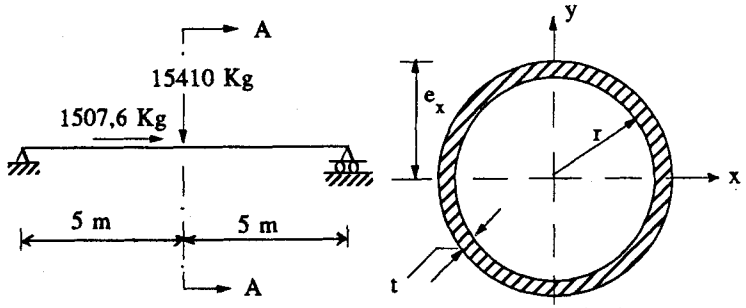
Contoh soal 6

Sebuah pesawat jet seperti contoh soal no. 3 bab. 2.12.

Ditanya : – Tebal plaat body pesawat
– Tebal plaat wing depan, maupun belakang

Penyelesaian :

– Perhitungan ukuran plat body
Dianggap titik pusat beban terkonsentrasi pada titik beratnya.



Potongan A–A.

Momen bengkok

$M_b = 15410$ .Kg.500 cm = 7705000 Kg.cm.

Bahan body pesawat adalah alluminium alloy.

$\overline{\sigma}_b \approx 800 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$; maka.:

Momen Kelembaman plaat body terhadap sumbu x :

$I_x = \pi.r \text{ (cm)}.t \text{ (cm)}.r^2 \text{ (cm}^2\text{)}$

$W_x = \frac{I_x}{r} = \pi.t.r^2 \text{ (cm}^3\text{)} ; r = 75 \text{ cm}$

maka :

$$\sigma_1 = \frac{7705000}{\pi.t.r^2} = \frac{407}{t} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Efek tekukan :

$$\sigma_2 = \frac{1507,6 \text{ Kg}}{\pi.r.t \text{ (cm}^2\text{)}} = \frac{6,48}{t} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Tegangan gabungan :

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$$

maka :

$$800 \geq \sqrt{\left(\frac{407}{t}\right)^2 + \left(\frac{6,48}{t}\right)^2}$$

$t \geq 0,96$ cm

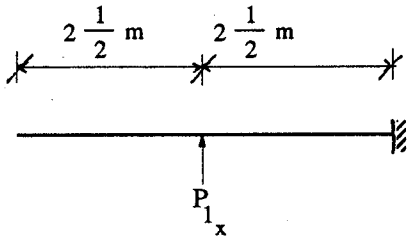
jadi diambil tebal plaat alluminium alloy untuk body pesawat jet tadi minimum (khususnya pada daerah A–A) adalah :

$t = 1,0$ cm.

– Perhitungan ukuran Wing.

Gaya angkat yang bekerja pada wing depan satu sisi, adalah :

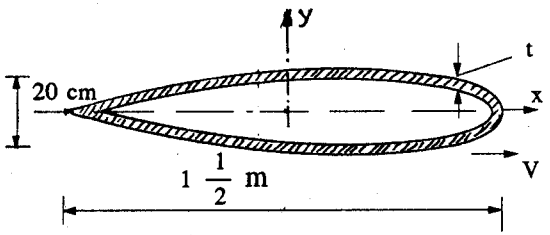
$$P_{1_x} = 11/2 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} \cdot \frac{(125{,}00)^2}{2 \cdot 9{,}81} = 5973 \text{ Kg}$$



Dianggap P_{1_x} bekerja tepat di tengah-tengah maka :

Momen bengkok : $M_b = 5973 \text{ Kg} \cdot 250 \text{ cm}$

$= 1{,}5.10^6 \text{ Kg.cm.}$



Momen Kelembaman terhadap sumbu x :

$I_x = 2.150 \text{ cm.t(cm)} (10)^2 \text{ cm}^2$

$= 30000.t \text{ cm}^4$

Momen tahanan terhadap sumbu x :

$$W_x = \frac{I_x}{e_x} = \frac{30000.t}{10} = 3000 \text{ t. (cm}^3\text{)}$$

maka :

$$800 \leq \frac{1{,}5.10^6}{3000.t}$$

Jadi tebal plat pada wing depan :

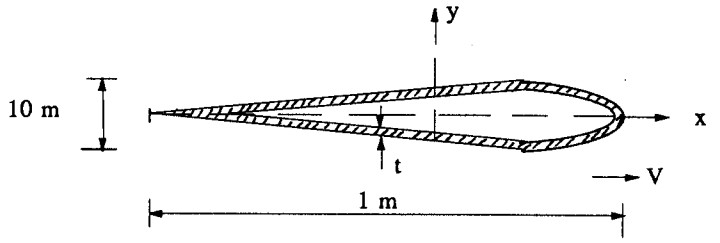
t = 0,6 cm.

Dipakai plat tebal t = 10 mm.

Untuk wing belakang, dengan cara seperti di atas, maka didapat t.

Gaya angkat : $P_{1_x} = 1 \cdot 2 \cdot \frac{(125{,}00)^2}{2 \cdot 9{,}81} = 1600 \text{ Kg.}$

$M_b = 1600 \text{ Kg.} \ 100 \text{ cm} = 160000 \text{ Kg. cm.}$



$$W_x = \frac{2.100.t \ (\frac{10}{2})^2}{5} = 1000 \text{ t (cm}^3\text{)}$$

maka :

$$800 \leq \frac{160000}{1000.t}$$

Jadi : t = 0,2 cm.

Dipakai tebal plat t = 2 mm.

Contoh soal 7.

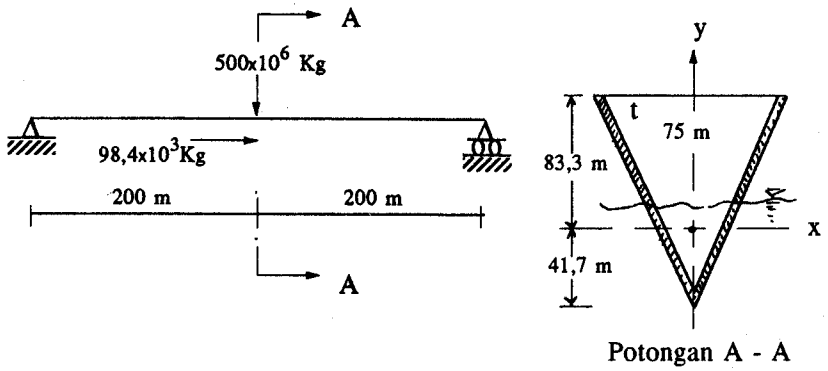
Sebuah kapal seperti ditunjukkan pada contoh soal 1 bab. 2.12.

Ditanya :

- Ukuran-ukuran plat utama.

Penyelesaian

Dianggap gaya terpusat pada titik berat kapal :



Potongan A - A

Momen Kelembaman plat lambung terhadap sumbu x adalah :

$$I_x = 2.\ \frac{1}{12}\ .\ t\ \{\ (83{,}3 + 41{,}7)\ \frac{1}{\text{Cos } 15^\circ}\ \}^3$$

$$= 361199{,}75\ t\ (m^4)$$

Momen bengkok :

$$M_b = 500.10^6\ (\text{Kg}).\ 200\ (\text{m})$$

Momen tahanan bengkok body :

$$W_x = \frac{I_x}{e_x} = \frac{361199{,}75.t}{86{,}23} = 4188{,}38.t\ (m^3)$$

Tegangan bengkok : $\sigma_1 = \dfrac{500.200.10^6}{4188{,}38\ .\ t}$ (Kg/m^2)

Mencari effect tekukan :

Momen kelembaman terhadap sumbu y :

$$I_y = 2\ .\ t\ .\ 129{,}4\ .\ (37{,}5)^2 = 363937{,}5\ (m^2).$$

Luas penampang plaat lambung kapal pada potongan A – A adalah:

$$F = 2\ .\ t\ .\ 125\ \frac{1}{\text{Cos } 15^\circ} = 258{,}82\ t\ (m^2).$$

Tegangan tekuk :

$$\sigma_2 = \frac{98{,}4\ .\ 10^3}{258{,}82.\ t}\ (\text{Kg/m}^2)$$

Tegangan Gabungan :

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^{\,2} + \sigma_1^{\,2}}\ (\text{Kg/m}^2)$$

$$\sigma = \sqrt{(\frac{9{,}84}{258{,}82.\ t})^2 + (\frac{500.200.10^2}{4188{,}38\ .\ t.})^2}$$

untuk plat dari st 37, maka $\sigma_t = 1200\ \text{Kg/cm}^2$ maka :

$$1200 \geq 2387{,}56.\ \frac{1}{t}$$

$$t \geq 1{,}99\ \text{cm}$$

jadi plat lambung kapal dipilih tebal

$$t = 2\ \text{cm}.$$

Contoh soal 8

Sebuah kapal selam direncanakan mampu beroperasi pada kedalaman 750 m, sedang data-data lain seperti pada bab 2.12 contoh soal no. 4.

Ditanya : ukuran-ukuran utama plat body

Penyelesaian :

Gaya hydrodinamis pada plat :

P = 1309,52 Kg, maka tekanan hydrodinamis pada plat :

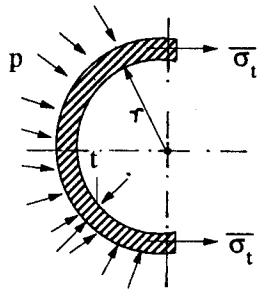
$$p_1 = \frac{1309{,}52}{\frac{\pi}{4}(500)^2} = 0{,}01\ \text{Kg/cm}^2$$

PERPUSTAKAAN DAERAH JAWA TIMUR
JL. MENUR PUMPUNGAN No. 32
S U R A B A Y A
TAHUN ANGGARAN 1996 / 1997

Tekanan hydrostatika air :

$$p_2 = \gamma \cdot h = 10^3 \cdot 750 = 750 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^2$$
$$= 75 \text{ Kg/cm}^2.$$

Analysa gaya-gaya : $p = p_1 + p_2$



$$p\ (\frac{Kg}{cm^2}) \cdot \pi \cdot r^2\ (cm^2)$$

$$= \overline{\sigma_t}\ (\frac{Kg}{cm^2}) \cdot 2\pi r.\ (cm)\ t\ (cm)$$

$$t = \frac{p.r}{2\overline{\sigma_t}}$$

jadi tebal plat yang diizinkan adalah :

$$t_{act} = \frac{75{,}01.250}{2.\ \frac{3700}{3}} = 7{,}6\ (cm)$$

Contoh soal 9

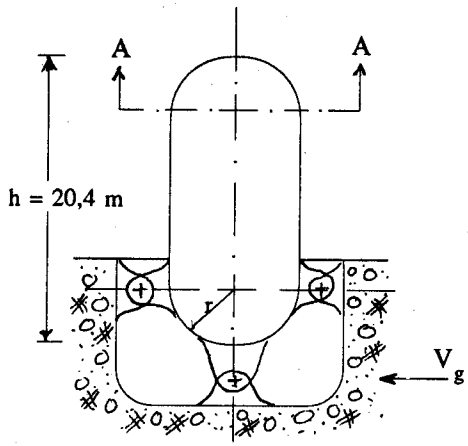
Sebuah tangki cadangan minyak berkapasitas simpan 1 juta m^3 dan rencana dibangun di atas tanah 300 m x 300 m.

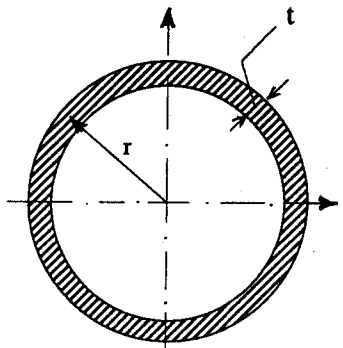
Ditanya : ukuran-ukuran utama tangki,

Penyelesaian :

Diperkirakan diameter tangki 250 m, maka tinggi tangki dicari dari :

$$10^6 = \frac{\pi}{4}\ (250)^2 \cdot h, \ldots\ldots \text{jadi} \ldots . h = 20{,}4 \text{ m}.$$





Potongan A - A

Tekanan statik minyak pada titik terbawah dari tangki adalah :

$$p_1 = 800\ (\frac{Kg}{m^3}).20{,}4\ (m) = 16320\ (Kg/m2).$$

Diperhitungkan pula terhadap kemungkinan adanya gempa. Karena lokasi tangki ini di pelabuhan dan jauh dari gunung berapi, maka effect gempa cukup kecil dan dalam persoalan ini diperkirakan berkecepatan 2 m/det.

maka : Tekanan dinamik minyak adalah :

$$p_2 = 800\ (\frac{Kg}{m^3})\ \frac{(2)^2}{2.9{,}81}\ \frac{\frac{m^2}{det^2}}{(m/det^2)}$$

$$p_2 = 163{,}1\ (Kg/m^2).$$

Total tekanan :

$$p = p_1 + p_2 = 16483{,}1\ Kg/m^2.$$

Keseimbangan gaya tekan dari minyak dengan "counter balance" dari plat tangki :

$$p\ \left(\frac{Kg}{m^2}\right).\pi.r^2(m^2) = 2\pi.r\ (m).t\ (m).\ \bar{\sigma}_t\ \left(\frac{Kg}{m^2}\right)$$

jadi tebal plat :

$$t = \frac{p.r}{2\bar{\sigma}_t}$$

untuk bahan plat dari st 37,

maka :

$$t = \frac{16483{,}1\ \left(\frac{Kg}{m^2}\right).125\ (m)}{2.1200.10^4\ \left(\frac{Kg}{m^2}\right)} = 0{,}086\ m$$

t = 8,6 cm.

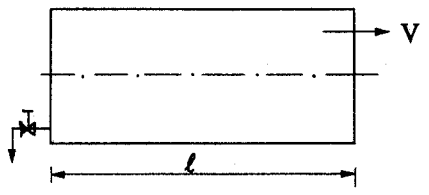
Contoh soal 10

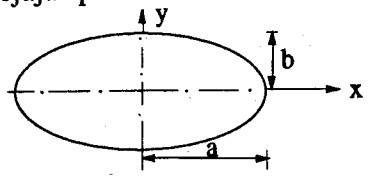
Sebuah tangki pengangkut bahan bakar berkapasitas 5000 liter dipasang di atas chasis gandengan yang masing-masing berkapasitas 0,5 nya.
Bila truck gandengan mampu berkecepatan 120 Km/jam.

Ditanya : ukuran-ukuran utama tangki.

Penyelesaian :

Karena agar distribusi tekanan minyak merata tangki dibuat semi spheric (lengkung dan bukan kotak).
Agar supaya lebih banyak debitnya pada saat dikeluarkan (di tap), maka sumbu panjangnya dipasang sejajar permukaan tanah.





Diperkirakan a = 1,5 b

maka :

$5\ (m^3) = \ell\ (m)\ .\ \pi.a\ (m)\ .\ b\ (m)$

$5 = \pi\ .\ \ell\ .\ b.\ (1{,}5b)$

ℓ diperkirakan 2,5 m.

Maka : b = 0,65 m.

jadi a = 0,975 m.

Tinggi tangki adalah : 2b = 1,3 m.

Kecepatan truck :

V = 33,3 m/det.

Tekanan statik minyak pada plaat adalah :

$$p_1 = 800.\ \left(\frac{Kg}{m^3}\right).1{,}3\ (m) = 1040\ (Kg/m^2)$$

Tekanan dinamis minyak pada plaat :

$$p_2 = 800.\ \frac{(33{,}3)^2}{2.9{,}81} = 45214{,}7\ (Kg/m^2)$$

Tekanan total : $p = 46254{,}7\ Kg/m^2$.

Analoog bentuk rumusnya dengan tangki yang lain :

$$t_1 = \frac{p.r}{2.\bar{\sigma}_t}$$

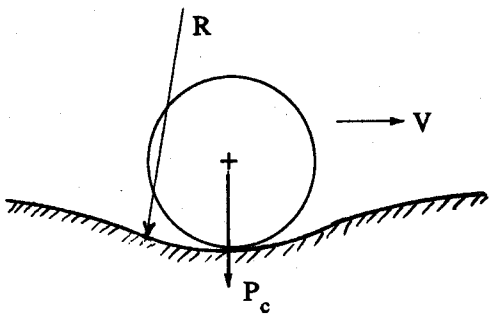
di mana r dipilih yang terbesar yaitu a = 0,475m

$$\text{jadi } t_1 = \frac{46254{,}7.0{,}975}{2.1200.10^4} = 0{,}002\ m$$

t_1 = 0,2 cm.

Ditinjau terhadap beban dinamis lantaran kondisi jalan yang tidak menguntungkan.

Berat minyak G = 5 (m^3).800 ($\frac{Kg}{m^3}$) = 4000 Kg.

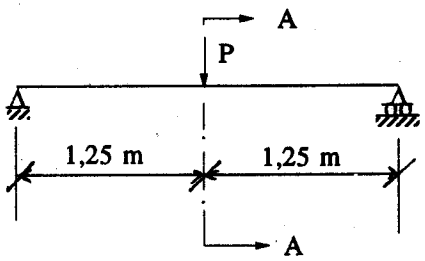


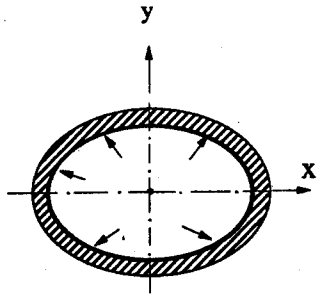
Beban dinamis : $P_c = \frac{4000}{9,81} \cdot \frac{(33,3)^2}{R}$ (Kg)

R terkecil diperhitungkan sama dengan 1,5 panjang mobil, maka:

$$P_c = \frac{4000}{9,81} \cdot \frac{(33,3)^2}{7,5} = 60286,24 \text{ Kg.}$$

Total beban P = 64286,24 Kg.





Potongan A–A

Tinjauan bengkok

$M_b = P \cdot 1,25 = 80357,8$ Kg.m.

$I_x = t\,(m).\ 2\pi\ (\frac{a+b}{2})\ (m)\ b^2\ (m^2)$

$W_x = \frac{I_x}{b} = 2\,(a+b)\ 0,5\ \pi\ .b.t$

$a = 1,5\ b$, maka :

$W_x = \pi\ .b.t_2\ (2,5.b) = 2,5\ \pi.b^2.t_2$

$b = 0,65$ m, maka :

$W_x = 3,32\ .\ t_2\ (m^3)$

maka :

$$10^4\ .\ 1200 \geq \frac{80357,8}{3,32.\ t_2}$$

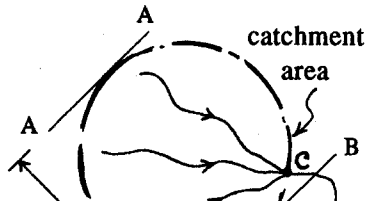
jadi t_2 = 0,002 m atau t_2 = 0,2 cm.

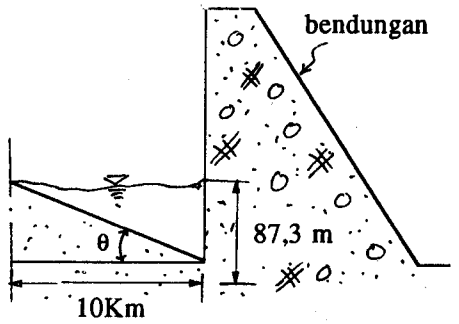
jadi total $t = t_1 + t_2$ = 0,4 cm

Dipilih plat dengan tebal 5 mm.

Contoh soal 11

Sebuah bendungan di suatu catchment area berkapasitas bisa menyimpan air sebanyak 100 juta m^3.





A–A B–B

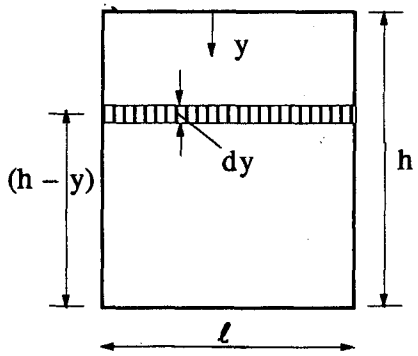
Bila jarak dari daerah A – A ke B – B 10 Km adalah direncanakan sebagai daerah sungai yang tergenang akibat dibendungnya sungai di C, pada section B – B, dan sudut rata-rata tanah 1/2 derajat

Ditanya : ukuran-ukuran utama bendungan.

Penyelesaian :

Tinggi air : $h = 10.000 \text{ tg } 1/2^0 = 87{,}3$ m.

Ditinjau element bendungan sedalam y dan ℓ adalah panjang satuan bendungan.



maka :

Gaya pada bagian yang diarsir :

$$dP = p \cdot dF$$

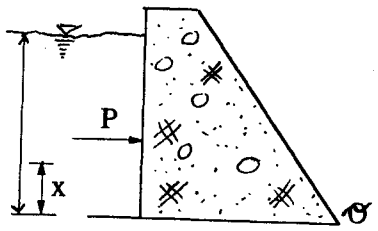
$$= \gamma \cdot y \cdot dF$$

$$\int dP = \int \gamma \cdot y \cdot \ell \cdot dy$$

maka : $P = 1/2\ \gamma \cdot \ell \cdot y^2$

$$P = 1/2\ \gamma \cdot \ell \cdot h^2 \Big|_0^h$$

Ditinjau momen guling terhadap titik O.



$$dt = (h - y) \cdot dP$$

$$= (h - y)\ \gamma \cdot y \cdot \ell \cdot dy$$

$$\tau = \int_0^h (h - y)\ \gamma \cdot y \cdot \ell \cdot dy$$

$$\tau = \gamma.h.\ell \int_0^h y.dy - \int_0^h \gamma \cdot \ell.y^2.dy$$

$$= h.\ \gamma \cdot \ell.1/2\ y^2 \Big|_0^h - \gamma \cdot \ell.1/3 \cdot y^3 \Big|_0^h$$

$$= 1/2.\ \gamma.\ell.h^3 - 1/3.\gamma.\ell.h^3$$

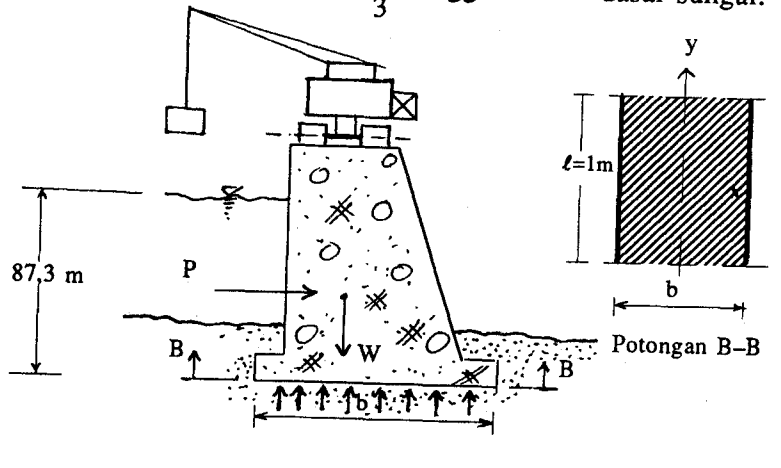
$$\tau = 1/6\ \gamma.\ell.h^3$$

Misalkan gaya resultante hydro bekerja sejauh x dari dasar, maka :

$$P.x = \frac{1}{6}.\ \gamma \cdot \ell.h^3 = \frac{1}{2}.\gamma.\ell.h^2.x$$

jadi $x = \frac{1}{3}\ h$

atau titik tangkap gaya berada $\frac{1}{3}$ tinggi air dari dasar sungai.



Analisa mampu dukung tanah pondasi bendungan dengan meninjau tiap satuan panjang bendungan.

Tinjauan mampu dukung tanah :

Tegangan Langsung :

$$\sigma_1 = \frac{W}{b \,.\, 1} = \frac{W}{b} \; (Kg/m^2)$$

Tegangan akibat momen oleh air adalah :

$$\sigma_2 = \frac{M}{W} = \frac{\frac{1}{6} .10^3.1.(87,3)^2}{\frac{1}{6} .1.b^3} = \frac{1}{b^3} \,.\, 7621290 \; (\frac{Kg}{m^2})$$

Tegangan Gabungan :

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^{\,2} + \sigma_2^{\,2}} = \sqrt{(\frac{W}{b})^2 + (\frac{7621290}{b^3})^3}$$

Syarat aman bila :

$$\sigma < \sigma_{tanah}$$

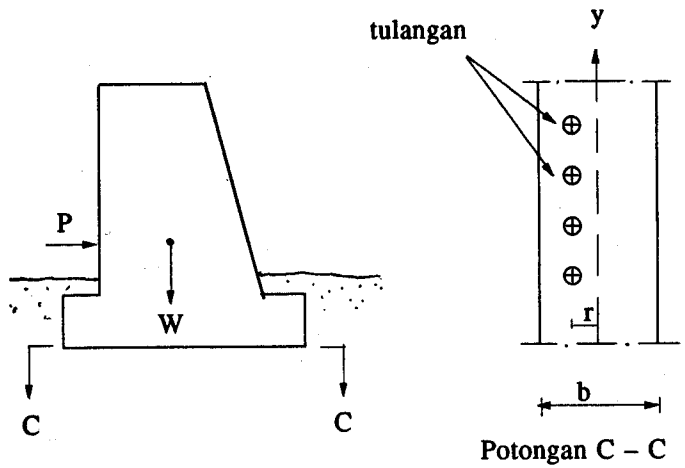
Sedang σ_{tanah} didapat dari "test sondir" di lapangan.

Sehingga :

$$\sigma_{tanah} > \sqrt{(\frac{W}{b})^2 + (\frac{71621290}{b^3})^2}$$

jadi setelah σ diketahui, maka dengan trial harga b didapat dan sudah barang tentu dengan memperhatikan W.
W ini adalah berat bendungan serta beban-beban lain di atas tubuh bendungan.
Analisa tubuh bendungan sendiri terhadap lengkung dan direct force W.
Tegangan bahan untuk tubuh bendungan harus lebih besar dari

$$\sqrt{(\frac{W}{b})^2 + (\frac{71621290}{b^3})^2}$$



Potongan C – C

Pada sisi kiri ia mengalami tarik, maka diberi baja tulangan.

Tegangan Langsung : $\sigma_1 = \dfrac{(W + P)}{n. \frac{\pi}{4}.d^2 + 1.b}$

di mana n = 14 adalah perbandingan atau rasio modulus E baja terhadap beton dan d adalah diameter tulangan.

Sehingga :

$$\sigma_1 = \frac{W + P}{14. \frac{\pi}{4} .d^2 + b} \; (Kg/m^2)$$

Tegangan karena momen :

$$\sigma_2 = \frac{M}{W} = \frac{\frac{1}{6} .10^3.1.(87,3)^2}{\frac{I_y}{b/2}}$$

di mana : $I_y = n. \frac{\pi}{4} \; d^2. \sum_{i=1}^{N} z_i.r_i^{\,2} + \frac{1}{12}. \; 1. \; b^3$

z_i : jumlah tulangan tiap deret untuk panjang satuan 1 m.

r_i : jarak tulangan terhadap sumbu y (m)

Tegangan gabungan : $\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$

Tegangan beton max $\sigma \approx (5 - 8).\ 10^4\ (\frac{Kg}{m^2})$

Syarat kuat, bila : $\sigma < \overline{\sigma}$

Dari sini z, r, dan d dapat dihitung.

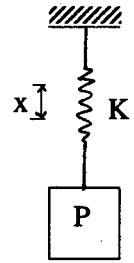
3.12. HARGA TETAPAN PEGAS EQUIVALENT.

Seperti telah kita jumpai di muka bahwa konstanta pegas berpengaruh, baik terhadap besar kecilnya gaya yang bekerja maupun defleksi yang terjadi.

Dirumuskan : $P\ (Kg) = k\ (\frac{Kg}{cm^2})\ .\ x\ (cm)$

atau

$P = K.x$



di mana k adalah konstanta pegas dan x adalah defleksi pegas yang terjadi karena beban P.

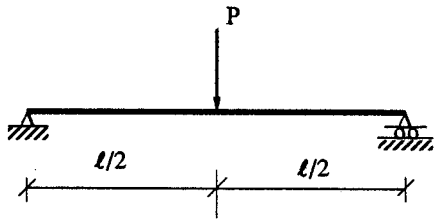
Sekarang akan ditinjau tetapan pegas equivalent dari berbagai media.

Dalam buku ini media dibedakan dalam dua group yaitu :

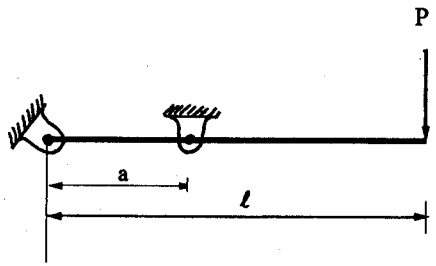
Pertama yang disebut tetapan pegas equivalent dari zat padat umumnya dan batang yang sebagian terbanyak ditinjau di sini.

Seperti telah kita bicarakan pada masalah lenturan di mana untuk batang yang ditumpu di satu sisi (centilever system) maka konstanta pegas equivalent $k = \frac{3\ EI}{\ell^3}$ (Kg/cm) dan untuk batang yang dipuntir (torsional system) maka konstanta pegas torsi equivalent $k_t = \frac{G.I_p}{\ell}$ $(\frac{Kg.cm}{rad})$.

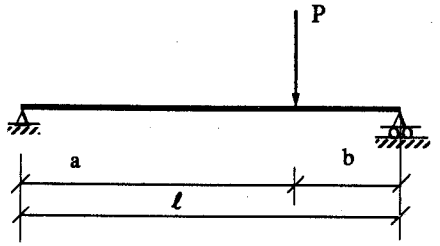
Dengan cara yang sama dapat diturunkan spring stifness k untuk bermacam-macam lever system :



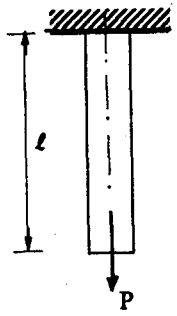
$k = \frac{48.E.I_x}{\ell^3}$



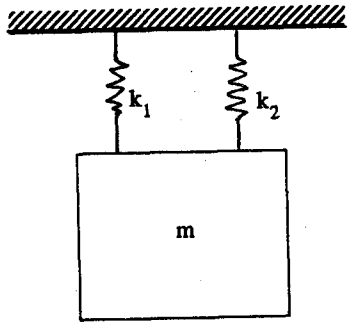
$k = \frac{3.E.I_x}{\ell(\ell - a)^2}$



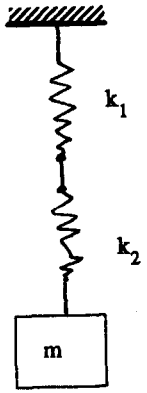
$k = \frac{3.E.I_x.\ell}{(a.b)^2}$



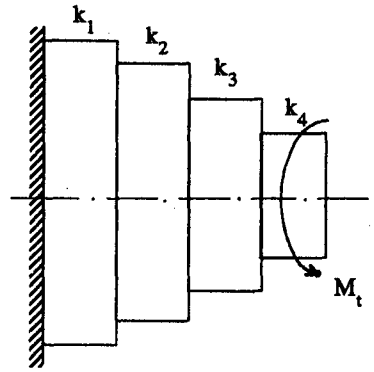
$$k = \frac{A.E}{\ell}$$



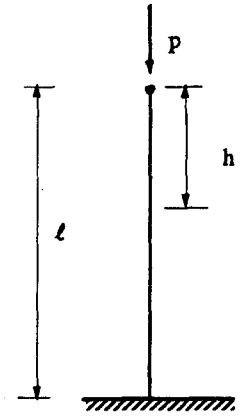
$$k = k_1 + k_2$$



$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

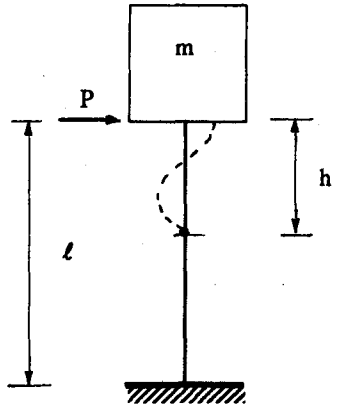


$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4}$$



$$k = \frac{12.EI_x}{h^3}$$

di mana : $h = (0{,}25 - 0{,}5)\ \ell$



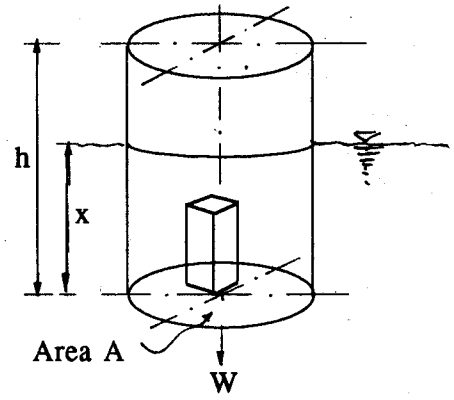
$$k = \frac{3.E.I_k}{h^3}$$

di mana :

$$h = \ell \left[1 - 0{,}01 \frac{m.g.\ell^2}{E.I_x} \right]$$

Sedang yang kedua adalah tetapan pegas equivalent dari zat cair atau zat padat yang sedang mencair atau zat padat yang bukan merupakan batangan akan tetapi merupakan bubukan (bulk).

Katakan saja misalnya benda beserta tempatnya W(Kg) yang tahan bocor ditempatkan di atas fluida. Menurut Archimedes, bila x < h maka berlaku :



Gaya berat sama dengan gaya lawan fluida ke atas. Bila ditulis dalam bentuk matematik :

$$W(kg) = p\left(\frac{Kg}{cm^2}\right).\ A(cm^2)$$

Menurut Hidrostatika :

$$p = \gamma\left(\frac{Kg}{cm^3}\right).x\ (cm)$$

Sehingga :

$$W = \gamma .A.x,$$

dengan demikian tetapan pegas equivalent untuk system ini adalah:

$$k = \gamma .\ A\ (kg/cm),$$

di mana γ adalah berat jenis medium (Kg/cm^3) dan A adalah luasan telapak body (cm^2).

GERAK DAN GETARAN 4

4.0. PENGENALAN

Seperti telah disebutkan di atas bahwa gerak adalah perpindahan titik dari koordinat satu ke koordinat yang lain.
Sedang getaran adalah gerak bolak-balik yang melewati titik tetap. Berbicara tentang gerak dan getaran di dalam konteks perencanaan mesin-mesin fluida adalah suatu hal yang amat perlu.

Alasan pertama adalah bahwa, pada mesin fluida bisa dikatakan antara gerak dan getaran tadi adalah suatu kejadian yang mau tidak mau harus terjadi, karena pengertian tentang getaran tidak terpisahkan dengan gerakan.

Alasan kedua adalah bahwa apabila bahan (yang dipakai sebagai body mesin dalam hal ini) menerima pembebanan dalam jumlah sikles pembebanan yang lebih banyak maka kekuatan yang dimiliki oleh bahan cenderung turun. Menurut test kelelahan ditunjukkan bahwa pemberian beban mempunyai korelasi positif terhadap deflexi poros. Sedangkan kekuatan bahan tadi akan lebih cepat penurunannya apabila ia dibebani dengan amplitudo/deflexi yang selalu besar dan tidak ada sama sekali kemungkinan penurunannya.

Namun demikian, setidak-tidaknya kecepatan daripada penu-

runan kemampuan bahan oleh karena beban dengan frequensi pembebanan yang optimal secara umum masih mengikuti bentuk kurva yang mendekati ideal menurut fatique test.

Kondisi yang paling berbahaya terhadap keutuhan serta kontinyuitas kerja mekanisme mesin adalah bilamana ia beroperasi tiba-tiba saja hancur berantakan, lebih-lebih ia bekerja dengan beban serta frequensi pada titik kritis. Keadaan terakhir ini bisa terjadi bila tidak adanya kecocokan perilaku alam dari mekanisme (atau disebut frequensi natural dari sistem) dengan perilaku beban yang bekerja pada sistem tadi.

Untuk menemukan suatu titik agar supaya mekanisme mesin selalu cocok dengan beban, maka setidak-tidaknya frequensi beban yang dibekerjakan pada mesin harus lebih kecil atau lebih besar daripada frequensi natural mesin. Di samping karena mesin bekerja kompak, oleh karenanya ia memerlukan stabilitas kerja dari sistem.

Stabilitas mana bisa dicapai bila diberi input response maka error (deplexi dari mekanisme mesin) dalam waktu yang relatif singkat menjadi nol.
Untuk mencapai keadaan ini maka sistem memerlukan damping (media peredam getaran) seperti halnya grease, olie/fluids.

Pada mesin fluida di mana ia selalu kontak dengan fluida, maka dengan alasan teknik dan ekonomis pelumasan bisa dipakai fluida yang kontak itu sendiri misalnya pelumasan bantalan luncur untuk mendukung as propeller kapal. Namun kadang-kadang karena alasan teknik yang sama sekali tidak bisa ditolerir maka bahan pelumasan mesin harus dipilih fluida yang Viscous misalnya pelumasan silinder engine beserta bearing-bearingnya.

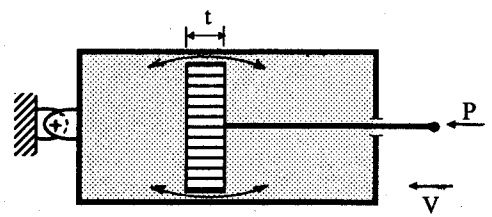
Pelumasan bearing dan silinder di samping untuk alasan stabilitas juga terdapat alasan pendinginan bagian-bagian serta sengaja diciptakan layer atau lapisan film dari fluida sehingga tidak terjadi kontak langsung antar mekanisme mesin.

Namun pada shock absorber system seperti halnya pada

design bentuk body di ujung depan serta belakang kapal adalah semata-mata untuk alasan stabilitas terutama dalam mengcounter getaran body kapal pada kondisi samudra yang berbeda-beda, begitu pula pada mobil-mobil, kereta api dan lain-lain.
Masalah damping tersebut akan dibahas lebih detail nantinya dalam buku ini.

4.1. TETAPAN DAMPING

Seperti telah dikatakan di atas bahwa untuk menjamin stabilisasi kerja mesin di dalam kerjanya diperlukan fluida sebagai media stabilisator. Fluida mempunyai kemampuan meredam getaran, kemampuan mana tergantung dari viscousitas dinamis jenis fluidanya. Berbicara tentang tetapan damping (tetapan peredaman) ini marilah kita mulai persoalan damping dari yang sederhana, baru kemudian yang lebih khusus dan kompleks.
Seperti ditunjukkan pada gambar berikut adalah sebuah dashpot yang terdiri dari piston beserta rodnya sekali di dalam sebuah silinder yang berisikan fluida yang viscous.



Piston

Diameter piston d (m), diameter silinder bore D (m), dan Viscousitas dinamis fluida adalah

$$m \left(\frac{Kg.det}{m^2} \right)$$

Bila posisi piston bergeser, maka berarti terdapat perbedaan tekanan di dalam silinder.

Beda tekanan ini menyebabkan adanya perpindahan fluida dari sisi satu ke sisi lain.

Menurut Hukum Newton kedua :

$P = d\left(\frac{m \cdot V}{dt}\right) = m.a$, dan bila massa piston diabaikan, maka :

$$\Sigma P = 0$$

untuk aliran laminair, berlaku :

$$P - \Delta p.A - \mu . \frac{\pi .d.t}{(\frac{D-d}{2})} . V = 0$$

Sedangkan debit fluida yang lewat celah antara piston dan silinder adalah :

$$q = F.V = F. \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}}$$

di mana F adalah luas silinder bore (m^2), V adalah kecepatan piston (m/det), g adalah percepatan gravitasi bumi ≈ 9,81 m/det^2, Δp adalah beda tekanan (Kg/m^2), dan γ adalah berat jenis fluida (Kg/m^3).

Bila kita katakan bahwa :

$$\sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}} = K. \Delta p \quad , \text{maka :}$$

$$\Delta p = \frac{F}{K} . V$$

Sehingga :

$$P = \left(\frac{F^2}{K} + \mu . \frac{\pi .d.t}{\frac{D-d}{2}}\right). V$$

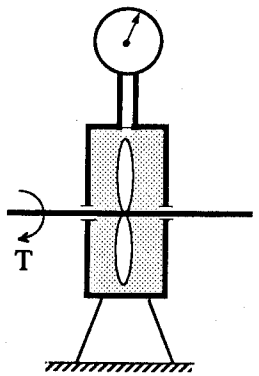
atau :

$$\boxed{P = C . V} \quad (Kg).$$

di mana C disebut koeffisient damping translasi ($\frac{Kg.det}{m}$), V adalah kecepatan gerakan piston (m/det) dan P adalah gaya untuk menggerakkan piston (Kg).

Damping pada keadaan yang seperti berikut adalah apa yang disebut sistem damping rotasi, dan tetapan dampingnya disebut tetapan damping rotasi atau rotating of damping coeffisient b ($\frac{Kg.m}{rad/det}$).

Torsional dashpot bekerja karena adanya kecepatan putar dari massa putar (rotating mass) pada medan yang dikelilingi fluida.



Perlawanan fluida karena putaran tadi ditulis sebagai torque :

$T = b . \omega$ (Kg.m) di mana ω adalah kecepatan sudut (rad/sec).

Untuk rotating of damping koeffisient dicari dengan eksperimen di laboratorium atau didekati dengan teori hydrodinamis.

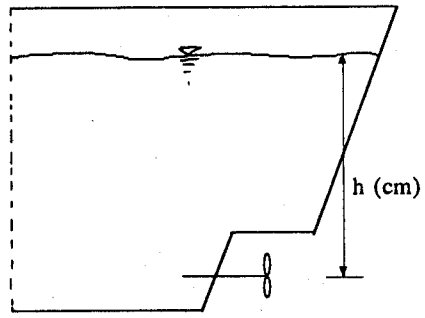
Penerapan sistem ini yang cukup nampak adalah pada propeller pesawat terbang, propeller kapal, propeller pompa, propeller turbine.

Pada sistem propeller kapal adalah mempunyai kesamaan dengan system propeller pompa.

Pada pompa dikenal gerakan propeller di dalam casing (rumah pompa) yang berisikan fluida, di samping pompa di dalam

operasinya juga melawan head atau ketinggian.

Pada propeller kapal, ia harus mampu membangkitkan gaya dorong kapal pada posisi h (m) di bawah garis air; sedangkan pada propeller pompa ia harus mampu memindahkan fluida dengan kecepatan tertentu pada kondisi h (m) antara level air yang dipindahkan terhadap level air di mana air pindahan ini terletak. Dalam banyak hal pompa bekerja bukan hanya untuk melawan ketinggian geodetik, namun juga tekanan p (Kg/cm^2).



Sementara itu menurut Bernoully :

$$h\ (cm) = \frac{p\ (\frac{Kg}{cm^2})}{\gamma\ (\frac{Kg}{cm^3})}$$

jadi dengan memonitor tekanan yang terjadi pada casing, dengan memakai propeller model yang sama dengan skala tertentu dan menghubungkan propeller pump Shaft untuk model test dengan elektro motor yang dilengkapi dengan amper dan Volt meter maka ukuran rotating of damping coeffisient b didapat dari hubungan prinsip energi balance.

$$M_t = I_i \cdot \alpha + b \cdot \omega$$

$$71620\ \frac{N}{n} = 71620\ \frac{E.i.\cos\varphi}{n.746}\ (Kg.cm)$$

di mana E adalah tegangan power supply motor electro (volt),

cos φ adalah factor kerja motor electro ≈ 0,85,i adalah kuat arus yang dikonsumsi oleh motor electro (ampere), n adalah putaran propeller shaft (rpm).

Pada penganalisaan terdahulu didapat bahwa percepatan sudut maximum $\alpha_{max} = \omega^2$.

Sehingga :

$$71620\ \frac{E.i.\cos\varphi}{n.746} = I_i \cdot \omega^2 + b.\omega$$

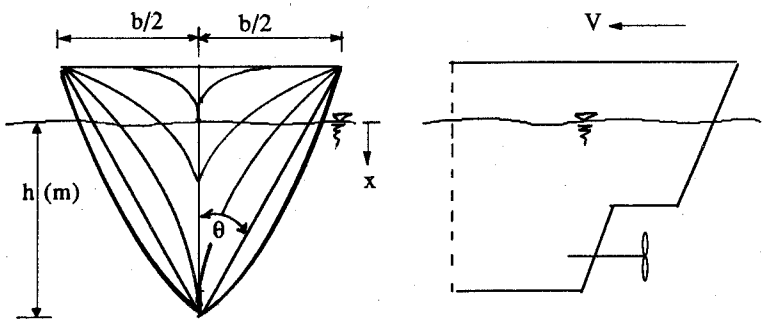
di mana $\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$ (rad/sec).

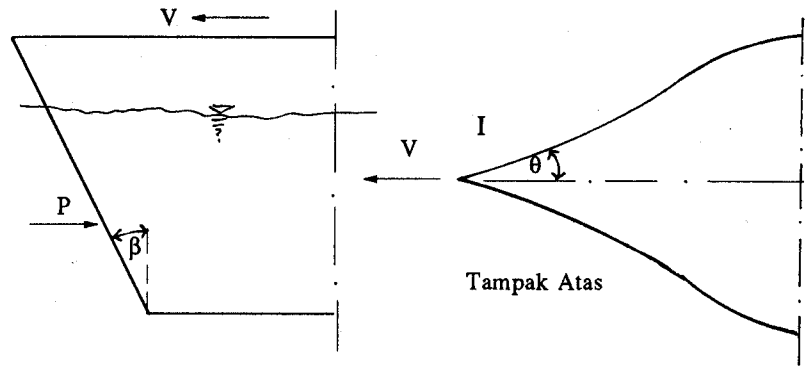
Jadi pada saat propeller berputar di mana tekanan pada casing sudah mencapai p ($\frac{Kg}{cm^2}$) yang mencerminkan beda ketinggian antara garis air dengan propeller shaft h (cm) pada kondisi ini pula diamati E, i dan n, sehingga harga b dapat dicari.

Harga b sebenarnya dari propeller kapal adalah b dari propeller pump model test dikalikan skala.

Sistem damping yang lain lagi pada dunia teknik perkapalan adalah damping bagian depan dan belakang lambung kapal.

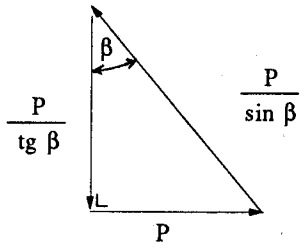
Kita tinjau Vibration absorber body kapal.





P adalah gaya hidrodinamis

Akibat gaya hidrodinamis P akan menyebabkan gaya hyidrodinamis arah vertikal seperti digambarkan dalam segitiga gaya berikut :



Gaya damping

$$\frac{P}{tg\beta} = C \cdot x,$$

di mana

$$C = \mu . \frac{2.\frac{h}{\cos\theta}\ \ell}{\frac{b}{2}}$$

di mana ℓ adalah panjang kapal.

Dari perumusan terakhir cukup jelas bahwa semakin kecil θ dan b maka damping coeffisientnya semakin besar, begitu pula dengan besarnya h dan ℓ.

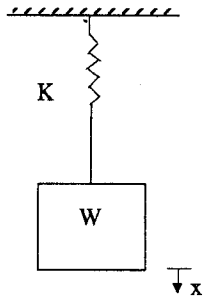
Sedangkan semakin besarnya sudut β maka memperkecil gaya damping.

4.2. ANALISA GETARAN

Seperti telah disebutkan di atas bahwa gerakan adalah perpindahan titik dari satu posisi ke posisi lain dan getaran adalah gerakan bolak-balik suatu titik dengan melalui titik tertentu.

Tempat kedudukan titik tertentu seperti yang dimaksud dalam persoalan ini merupakan garis lurus.

Diberikan ilustrasi tentang getaran pada sistem massa pegas. Pada sistem ini diberikan input beban kecil, maka berlaku :



Energi Potensial Pegas

$E_p = 1/2 .k. x^2$, dan Energi Kinetis benda yang digantungkan pada pegas adalah:

$$E_K = 1/2 . \frac{W}{g} . x^2$$

Menurut hukum Kekekalan Energi berlaku :

$(E_p + E_K)$ = Constant

Bila didifferentialkan didapat :

$$d\ (E_p + E_K) = d\ (C)$$

$$d\ (1/2.K.x^2 + 1/2. \frac{W}{g} . x^2) = 0$$

$$2.1/2.K.x.x + 2.1/2. \frac{W}{g} .x.x = 0$$

$$\frac{W}{g} . x + K.x = 0 \quad \text{.....(4.1)}$$

Persamaan terakhir ini dikerjakan dengan substitusi Euler :

$x = e^{at}$, maka $x = a.e^{at}$

dan $x = a^2 . e^{at}$ .....(4.2).

Bila substitusi Euler ini dilaksanakan, maksudnya persamaan (4.2) diisikan pada persamaan (4.1) maka didapat :

$$a^2.e^{at} + \frac{K.g}{W} . e^{at} = 0$$

atau : $a^2 + \frac{K.g}{W} = 0$, maka $a_{12} = \pm i \sqrt{\frac{K.g}{W}}$

Sehingga deflexi :

$$x = a_o.e^{i \sqrt{\frac{K.g}{W}} . t} + a_{oo}.e^{-i \sqrt{\frac{K.g}{W}} . t}$$

$$= a_o \{ \cos \sqrt{\frac{K.g}{W}} . t + i.\sin \sqrt{\frac{K.g}{W}} .t\}$$

$$+ a_{oo} \{ \cos \sqrt{\frac{K.g}{W}} . t + i.\sin \sqrt{\frac{K.g}{W}} . t\}$$

$$x = (a_o + a_{oo}) \cos \sqrt{\frac{K.g}{W}} . t + i (a_o - a_{oo}) \sin \sqrt{\frac{K.g}{W}} . t$$

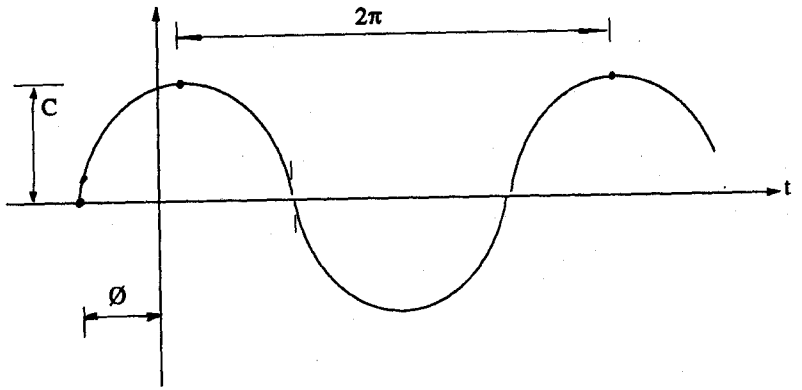
$$= C_1. \cos \sqrt{\frac{K.g}{W}} . t + C_2 \sin \sqrt{\frac{K.g}{W}} . t$$

$x = C. \sin (\omega t + \emptyset)$ .....(4.3),

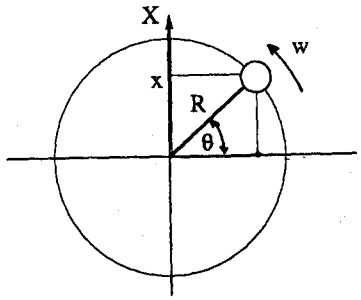
di mana $C = \sqrt{C^2_1 + C^2_2}$, $\omega = \sqrt{\frac{K.g}{W}}$ dan

$$\emptyset = \text{arc tg} (\frac{C_1}{C_2})$$

C adalah amplitudo atau simpangan maximum, ω adalah kecepatan sudut, dan Ø adalah beda sudut. Bila digambarkan hubungan antara deflexi yang terjadi terhadap waktu adalah sebagai berikut :



Bila kita lihat, bentuk persamaan (4 – 3) tidak lain adalah mencerminkan gerakan dari sebuah titik yang diputar pada suatu titik tetap.



Katakan saja kecepatan sudut putar adalah ω (rad/sac).

Bila jari-jarinya R maka :

$x = R.\sin \theta$

Sedangkan $\theta = \omega.t$, dan $\omega = 2\pi f$

di mana f adalah frequency putar ($\frac{\text{Cycle}}{\text{sec}}$).

maka :

$x = R.\sin \omega t$

atau :

$x = R.\sin 2\pi f.t$ .....(4 – 4)

Dari (4 – 3) dan (4 – 4) didapat :

$$\sqrt{\frac{K.g}{W}} = \omega = 2\,\pi\,f$$

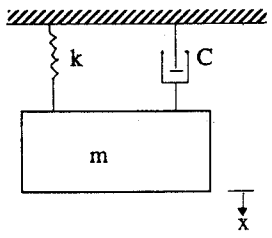
Karena kejadian ini terlaksanakan hanya dengan memberikan input gaya kecil, maka oleh karena itu kejadian ini disebut kejadian secara alam (natural); dan bertolak dari sini maka frequensi yang terjadi disebut dengan frequensi natural f_n dari sistem getaran massa pepas.

Sehingga ;

$$2\,\pi\,.\,f_n = \sqrt{\frac{K.g}{W}}$$

atau : $f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K.g}{W}}\ (\frac{cycle}{sec})$

Dari persamaan (4 – 3) serta grafik yang menyatakan hubungan matematik antara deflexi yang terjadi x terhadap waktu t menunjukkan bahwa amplitudonya tetap untuk waktu t yang tak terbatas. Kejadian semacam ini disebut dengan getaran tak teredam atau getaran yang tanpa ada penurunan amplitudo untuk t lebih besar dari nol.
Kejadian yang merupakan kontra dari apa yang diceritakan tadi adalah apa yang disebut dengan getaran teredam.
Dalam sistem ini untuk memudahkan ilustrasi maka dipakai media peredam adalah dari fluida yang Viscous (kental).
Kita gambarkan Vibration sistemnya dan kemudian kita tinjau gaya-gaya yang terjadi pada kondisi bergerak.



Di sini :

m = massa balok

k = konstanta pegas ($\frac{Kg}{cm}$) dan

C = koeffisient damping translasi ($\frac{Kg.det}{cm}$).

Sesuai dengan hypotesis Newton, bahwa reaksi gaya pada dashpot (media peredam Viscous) C baru ada bila ada kecepatan.

pada kondisi t lebih besar nol, maka berlaku persamaan gerakan :

$$m\,.\,x + C\,.\,x + k\,.\,x = 0$$

Dengan cara substitusi serupa didapat :

$$m.a^2.e^{at} + C.a.e^{at} + k.e^{at} = 0$$

$$a^2 + \frac{C}{m}\,.\,a + \frac{k}{m} = 0$$

$$a12 = \frac{-c}{2m} \pm i\sqrt{(\frac{k}{m}) - (\frac{c}{2m})^2}$$

Sehingga :

$$x = a_o\,.\,e^{a_1.\,t} + a_{oo}.\,e^{a_2.\,t}$$

$$= c_1\,.\,e^{-\frac{c}{2m}.\,t}\,.\cos\sqrt{(\frac{k}{m}) - (\frac{c}{2m})^2}\,.\,t$$

$$+ c_2\,.\,e^{-\frac{c}{2m}.\,t}\,.\sin\sqrt{(\frac{k}{m}) - (\frac{c}{2m})^2}\,.\,t$$

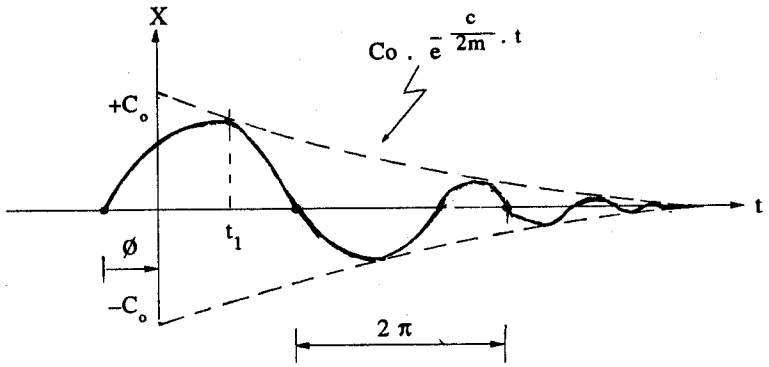
$$x = c_o.\,e^{-\frac{c}{2m}\,.\,t} + \sin\left(\sqrt{(\frac{k}{m}) - (\frac{c}{2m})^2} + \phi\right).\,t$$

. . . . . (4 – 5)

di mana :

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{k}{m}\right) - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} \quad \left(\frac{\text{cycle}}{\text{sec}}\right)$$

Bila dibuat grafik, hubungan antara x dan t adalah seperti gambar berikut :



Dari persamaan (4 – 5) dan grafik di atas, bahwa perilaku getaran teredam adalah mempunyai kecenderungan amplitudo nol. Perilaku sistem seperti ini disebut stabil.

4.3. GETARAN BEBAS

Pada analysa di atas telah ditulis dengan cukup jelas bahwa persamaan gerakan dari sistem adalah merupakan bentuk persamaan dari persamaan differential :

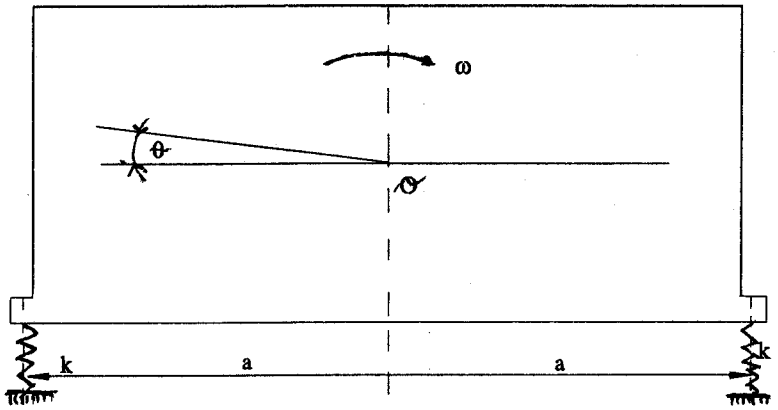
$$m.\ x + k\ .\ x = 0$$

Persamaan ini dengan kata lain disebut pula sebagai persamaan differential dari sistem getaran. Salah satu ciri daripada getaran bebas (free Vibration) adalah bahwa ruas kanannya nol dan ruas

kiri maupun kanan tidak terdapat fungsi beban.

Diberikan contoh pemakaiannya.

1. Sebuah engine yang ditumpu oleh 4 (empat) buah pegas, masing-masing dengan konstanta k (Kg/cm)



Momen inertia engine terhadap sumbu putar O adalah I_o (Kg.cm/det^2).

Ditanya : frequensi naturalnya.

Penyelesaian :

Persoalan di atas diselesaikan dengan menggunakan prinsip keseimbangan momen putar.

$$\Sigma M = I_o\ .\ \theta$$

atau :

Torsi lawan oleh pegas = Torsi putar engine

$$-4a^2\ K\ .\ \theta = I_o\ .\ \theta$$

$$\ddot{\theta} + (4.\frac{K.a^2}{I_o})\theta = 0$$

$$\omega_n = 2a\sqrt{\frac{K}{I_o}} \qquad \text{(rad/sec)}$$

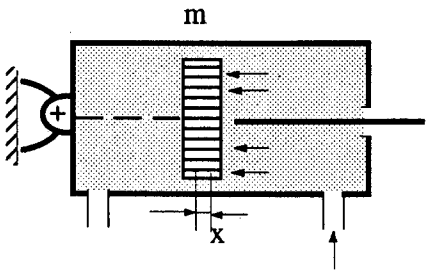
Maka frequency natural :

$$f_n = \frac{1}{2\pi}.\ 2a\sqrt{\frac{K}{I_o}}\ (\frac{\text{Cycle}}{\text{Sec}})$$

$$= \frac{a}{\pi}\sqrt{\frac{K}{I_o}} \qquad (\text{Cycle/sec})$$

Contoh 2

Pada keadaan semula sistem dalam kondisi setimbang, tekanan pada sisi kiri dan kanan piston adalah p. Kemudian piston diberi simpangan sejauh x dan setelah itu ia dilepaskan. Bila massa piston adalah m dan fluida di dalam silinder memenuhi p. V = c serta luas penampang silinder adalah A.



Carilah : frequensi natural dari system ini.

Penyelesaian :

Piston digeser sejauh x, maka beda volume yang terjadi adalah $\Delta V = A\ .\ x$.

Katakan saja Volume pada saat setimbang adalah V_o, maka pada sisi kanan berlaku

$$p\ .\ V_o = p_1\ (V_o + A\ .\ x),\ \text{atau}\ \ p_1 = \frac{p.V_o}{V_o + A.x}$$

Sedang pada sisi kiri berlaku :

$$p\ .\ V_o = p_2\ (V_o - A\ .\ x),\ \text{atau}\ p_2 = \frac{p.V_o}{V_o - A.x}$$

Beda tekanan antara dua sisi piston adalah :

$$(p_1 - p_2) = \frac{p\ .\ V_0}{V_0 + Ax} - \frac{p\ .\ V_0}{V_0 - Ax}$$

$$= \frac{p\ .\ V_0\ (V_0 - Ax) - p\ .\ V_0\ (V_0 + Ax)}{V_0^2 - A^2\ .\ x^2}$$

$$= \frac{p\ .\ V_0^2 - p.\ V_0\ .\ Ax - p.\ V_0^2 - p\ .\ V_0\ .\ Ax}{V_0^2 - A^2\ .\ x^2}$$

$$(p_1 - p_2) = \frac{-2p\ .\ V_0\ .\ A\ .\ x}{V_0^2 - A^2\ .\ x^2}$$

Gaya restoring :

$$F = (p_1 - p_2)\ A = -\frac{2p\ .\ V_0\ .\ A^2\ .\ x}{V_0^2 - A^2\ .\ x^2}$$

Persamaan gerakan piston :

$$m \cdot x + c \cdot x + \frac{2p \cdot V_o \cdot A^2 \cdot x}{(V_o^2 - A^2 \cdot x^2} = 0$$

atau : $$x + \frac{c}{m} \cdot x + \frac{2p \cdot V_o \cdot A^2 \cdot x}{m(V_o^2 - A^2 \cdot x^2)} = 0$$

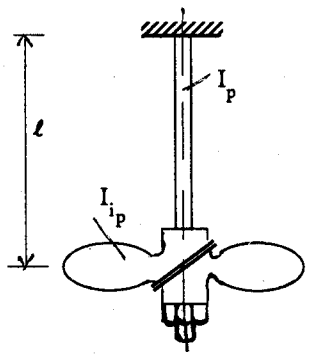
Karena x kecil, maka x^2 bisa diabaikan.

Jadi natural frequency dari system adalah :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{2p \cdot A^2}{m \cdot V_o^2}\right) - \left(\frac{c}{2m}\right)^2} \qquad \left(\frac{\text{cycle}}{\text{sec}}\right)$$

Contoh 3

Contoh berikutnya yang perlu disajikan di sini adalah tentang bagaimana cara mencari momen inertia I_i ($Kg.cm.det^2$) dari suatu propeller atau roda-roda gila.



Caranya adalah roda gila atau propeller digantung pada kawat atau batang baja yang sudah diketahui momen kelembaman polar I_p (cm^4)-nya terhadap sumbu netral puntir, serta panjangnya ℓ (cm).

Menurut mekanika bahan didapat, bahwa momen puntir pada batang tadi adalah :

$M_t = \frac{G.I_p}{\ell} \cdot \theta$, di mana θ adalah sudut puntir spesifik.

Sehingga persamaan gerak rotasi dari system di atas adalah :

$$\Sigma T = 0$$

$$(I_{ip} \cdot + \tfrac{1}{2} \cdot m \cdot r^2)\ \theta + \frac{G.I_p}{\ell} \cdot \theta = 0$$

di mana : m adalah massa poros atau batang putarnya ($\frac{Kg.det^2}{cm}$), r adalah jari-jari poros putar (cm)

Kita katakan 1/2 m r^2 adalah momen inertia batang putar I_{ib} ($Kg.cm.det^2$).

Persamaan gerakan di atas dapat disederhanakan sebagai :

$$\theta + \frac{G.I_p}{(I_{i_p} - I_{i_b})\ell} \cdot \theta = 0$$

Dengan memberikan simpangan sudut sangat kecil, maka terjadi getaran bebas.

Jadi untuk sistem di atas, frequensi naturalnya adalah :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{G.I_p}{(I_{i_p} - I_{i_b})\ell}} \quad \left(\frac{\text{cycle}}{\text{sec}}\right)$$

Dengan sudah diketahuinya G, I_p, I, I_{ib} serta dimonitornya f_n yang terjadi maka dapat dihitung I_{ip}.

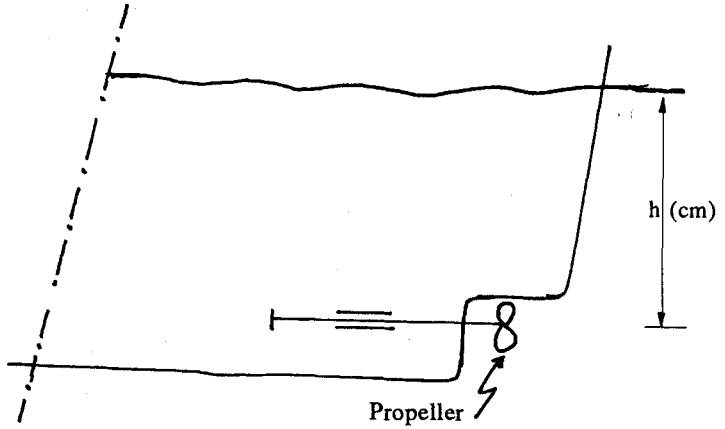
Contoh soal 4.

Contoh berikut yang kiranya perlu diberikan di sini adalah getaran dari poros propeller yang teredam.

Katakan saja bahwa berdasarkan pengujian model test kondisi optimal untuk fluida yang sudah ditentukan, koeffisient damping rotasi dari sistem ini adalah

$$b = \left(\frac{\text{Kg.cm}}{\text{rad/sec}}\right)$$

Bila momen inertia propeller adalah I_{ip} (Kg.cm.det^2) dan momen kelembaman polair poros propeller adalah I_p (cm^4) dengan panjang ℓ (cm).



Gambaran system getaran Propeller Kapal.

Frequensi natural dari propeller shaft dicari dari persamaan gerak rotasi bebas dengan menggunakan prinsip penjumlahan momen torque terhadap sumbu poros adalah sama dengan nol.

$$\Sigma T = 0$$

$$I_{ip} \cdot \theta + b \cdot \theta + k_t \cdot \theta = 0$$

atau :

$$\theta + \frac{b}{I_{ip}} \cdot \theta + \frac{G \cdot I_p}{\ell \cdot I_{ib}} \cdot \theta = 0$$

di mana : $K_t = \dfrac{G \cdot I_p}{\ell}$ adalah konstanta pegas torque equivalent dari poros propeller ($\dfrac{\text{Kg.cm}}{\text{rad}}$)

Sedangkan frequensi natural dicari dengan cara yang sama pada gerak translasi.

Jadi frequensi natural dari sistem poros propeller kapal adalah :

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{G.I_p}{\ell.I_{ib}}\right) - \left(\frac{b}{2.I_{ip}}\right)^2} \quad \left(\frac{\text{cycle}}{\text{sec}}\right)$$

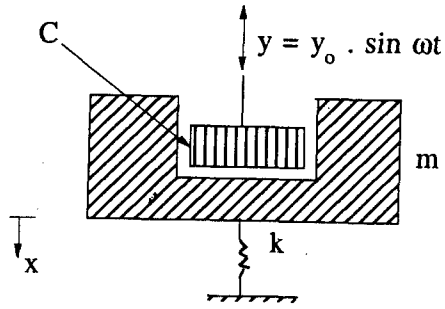
Dengan cara serupa, maka frequensi natural dari berbagai jenis poros putar dapat dicari.

4.4. GETARAN PAKSA

Seperti telah disinggung di dalam paragraf di atas bahwa getaran bebas adalah getaran yang tanpa dipengaruhi gaya luar. Sehingga apa yang disebut dengan getaran paksa adalah getaran yang dipengaruhi oleh gaya luar. Dalam kondisi tak teredam misalnya, persamaan gerakan karena paksa berbentuk :

$$\boxed{m.x + k.x = f(t)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4.6).$$

Sebagai contoh kita tampilkan pemakaiannya pada suatu engine yang bergerak dengan persamaan $y = yo.\sin \omega t$ yang ditumpu di atas sebuah sistem pegas.



Ditanya :

Amplitudo pegas.

Penyelesaian :

Persamaan gerak dari piston engine :

$$y = y_0 . \sin \omega t,$$

maka : $\dot{y} = y_0 . \omega . \cos \omega t.$

Persamaan gerakan dari keseluruhan sistem :

$$m.\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{y}) + k.x = 0$$

$$m.\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c.\dot{y}$$

$$m.x + c.x + kx = c.y_0 . \omega \cos \omega t \ .....(a).$$

Misalkan deflexi yang terjadi adalah :

$$x = A.\sin \omega t + B. \cos \omega t, \text{ maka}$$

$$x = A. \omega \cos \omega t + B(-\omega) \sin \omega t, \text{ dan}$$

$$x = -A.\omega^2 . \sin \omega t - B.\omega^2 . \cos \omega t \ .....(b)$$

Bila persamaan (b) disubstitusikan ke persamaan (a) maka didapat:

$$m(-A.\omega^2 . \sin \omega t - B. \omega^2.\cos \omega t) + c(A.\omega.\cos \omega t - B.\omega.\sin \omega t) + K(A \sin \omega t + B. \cos \omega t) = c.y_0.\omega. \cos \omega t$$

Dicari kesamaan antara ruas kiri terhadap ruas kanan :

$$A(k - m.\omega^2) - B.c.\omega = 0, \text{ maka :}$$

$$A = \frac{c . \omega}{k - m.\omega^2} . B$$

$$B(k - m.\omega^2) + A.c.\omega = c.y_0.\omega$$

$$B(k - m.\omega^2) + \left(\frac{c . \omega}{k - m.\omega^2}\right) c.\omega.B = c.\omega.y_0$$

$$B\left[\frac{c^2 . \omega^2}{k - m.\omega^2} + (k - m.\omega^2)\right] = c.\omega. y_0$$

$$B = \frac{c.\omega.y_0}{\frac{c^2.\omega^2}{k - m.\omega^2} + (k - m.\omega^2)}$$

dengan demikian maka :

$$A = \frac{c . \omega}{k - m.\omega^2} . \; = \frac{c.\omega.y_0}{\frac{c^2.\omega^2}{k - m.\omega^2} + (k - m.\omega^2)}$$

Sehingga deflexi yang terjadi :

$$X = \frac{c.\omega.y_0}{\sqrt{(k - m.\omega^2)^2 + (c.\omega^2}} \sin\left(\omega t + \text{arc tg} \frac{k - m.\omega^2}{c.\omega}\right)$$

Persamaan terakhir ini ditulis sebagai :

$$x = c_z . \sin(\omega t + \phi)$$

Kondisi paling ekstrim adalah bila $\phi = 0^\circ$ dan $\omega t = 90^\circ$, sehingga $\sin 90^\circ = 1$.

(karena harga sudut sinus maksimum adalah 90°).

Sehingga deflexi maksimum yang terjadi adalah :

$$X = \frac{c. \omega, y_0}{\sqrt{(k - m.\omega^2)^2 + (c.\omega)^2}}$$

di mana $c.w.y_o$ tidak lain adalah beban mula P_o, sehingga deflexi maksimum bisa ditulis sebagai :

$$X = \frac{P_o}{\sqrt{(k - m.\omega^2)^2 + (c.\omega)^2}}$$

Bila Circular of natural frequency

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{dan } \xi = \frac{c}{C_c} \quad \text{dan } C_c = 2.m.\omega_n$$

maka :

deflexi ratio ditulis :

$$\frac{X}{P_o/K} = \frac{1}{\sqrt{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2})^2 + (2\xi.\frac{\omega}{\omega_n})^2}}$$

Deflexion mencapai harga tak berhingga besarnya bila frequency ratio ($\frac{\omega}{\omega_n}$) sama dengan 1, atau dalam arti lain $\omega = \omega_n$. Jadi bila $\omega = \omega_n$ maka pegas patah .....(4.7)

Contoh soal 1

Sebuah kapal dengan bobot total (muatan dan berat sendiri) sebesar G (Kg).

Kapal ini mempunyai panjang efektif i (m), lebar b (m) dan sudut lambung suspensi θ°.

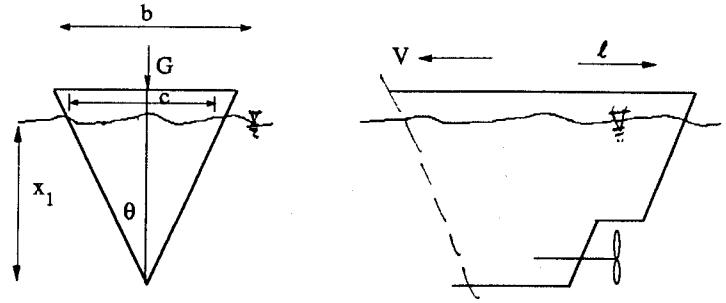
Bila berat enginenya W (Kg) dengan konstanta pegas (Kg/m).

Ditanya : Berapa kritisnya putaran engine penggerak sistem tersebut?

Analysa gaya-gaya yang terjadi :

Berat total = gaya tekan air ke atas

$$G\ (Kg) = \gamma\ (\frac{Kg}{m^3})\ .\ A\ (m^2).\ x_1\ (m).$$



$G = \gamma\ .\ A\ .\ x_1 = \gamma\ .\ \ell\ .\ c\ .\ x_1$

di mana : $c = 2x_1\ tg\ \theta$ dan $A = \ell\ .\ c = 2\ \ell\ .\ x_1\ tg\ \theta$

$G = \gamma\ .\ \ell\ .\ 2x_1\ tg\ \theta\ .\ x_1 = 2\ \gamma.\ \ell\ .\ tg\ \theta\ .\ x_1^2$

maka : $x_1 = \sqrt{\frac{G}{2.\gamma.\ell.tg\ \theta}}$ (m)

Sehingga : $A = \ell\ .\ c = \ell\ .\ 2x_1\ tg\ \theta$

$$A = 2\ .\ell\ .\ tg\ \theta\ \sqrt{\frac{G}{2.\gamma.\ell.tg\ \theta}}\ (m^2)$$

Konstanta pegas air equivalent :

$$k_1 = \gamma\ (\frac{Kg}{m^3})\ .\ A\ (m^2)$$

Koeffisient damping air equivalent :

$$c = \mu \cdot \frac{2 \cdot \frac{x_1}{\cos\theta} \cdot \ell}{c/2} \quad (\frac{Kg.det}{m})$$

persamaan gerakan body kapal :

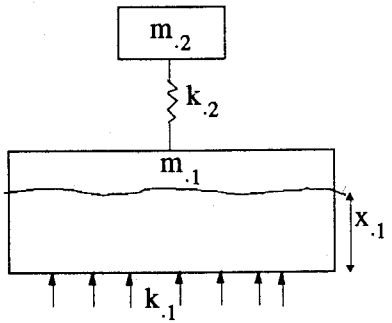
$$\frac{G}{g} \cdot \ddot{x} + c \cdot \dot{x} + k \cdot x = 0$$

$$\ddot{x} + \frac{c.g}{G} \cdot x + \frac{k.g}{G} \cdot x = 0$$

Frequensi natural kapal :

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_1 \cdot g}{G} - (\frac{c.g}{2G})^2} \quad (\frac{cycle}{sec})$$

Kalau digambarkan dengan equivalent system, modelnya seperti berikut :



Syarat agar tidak terjadi patahnya bagian-bagian dari sistem adalah:

$$\omega_{n_1} \gtrless \omega_{n_2} \gtrless \omega$$

di mana ω_{n_1} adalah natural of angular frequency body kapal, ω_{n_2} adalah natural of angular frequency spring mass (massa engine & pegas pondasinya), dan ω adalah kecepatan sudut dari engine (rad/sec).

$$\frac{2\pi n}{60} \lessgtr \sqrt{\frac{k_2}{m_2}} \lessgtr \sqrt{(\frac{k_1 \cdot g}{G}) - (\frac{c.g}{2G})^2}$$

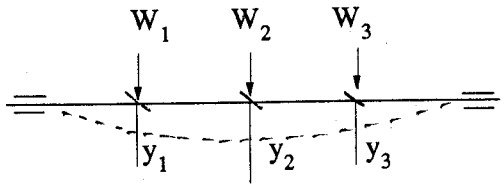
maka putaran engine penggerak utama sistem adalah :

$$n \lessgtr \frac{30}{\pi} \sqrt{(\frac{k_1 \cdot g}{G}) - (\frac{c.g}{2G})^2} \quad (rpm)$$

4.5. PUTARAN KRITIS POROS

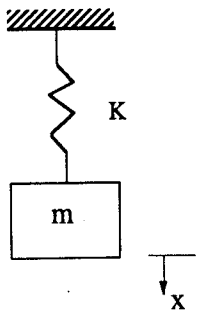
Kondisi kritis adalah kondisi di mana "frequency ratio sama dengan satu". Di atas telah diberikan beberapa solusi masalah natural frequensi poros dengan methode rotasi.
"Raleigh" mengembangkan teorinya untuk mencari frequensi natural atau putaran kritis dari poros dengan methode keseimbangan energie.

Berikut ditinjau suatu poros putar dengan distribusi dari poros serta roda-roda gigi W_i (Kg) dan deflexi yang terjadi yaitu y_i (cm).



Pada teori terdahulu disebutkan bahwa:

Energi potensial pegas:



$E_p = 1/2 \cdot K \cdot x^2$

Energy Kinetis massa:

$E_K = 1/2\ m \cdot V^2$

maka:

Energy total: $E = E_p + E_K$.

$E_{total} = 1/2\ Kx^2 + 1/2\ m \cdot V^2$

Pada kondisi kecepatan maximum, deflexi yang terjadi adalah nol, maka:

$$E_{K\,max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} \cdot x^2_{max}$$

Pada kondisi deflexi mencapai maksimum, kecepatannya nol, maka:

$$E_{p\,max} = \frac{1}{2} \cdot K \cdot x^2$$

Dengan menggunakan prinsip keseimbangan energi didapat:

$$E_{p\,max} = E_{K_{max}}$$

$$E_{K_{syst}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{W_1}{g} (\omega_n \cdot y_1)^2 + \ldots\ldots\ldots + \frac{1}{2} \cdot \frac{W_n}{g} \cdot (\omega_n \cdot y_n)^2$$

$$= \frac{1}{2g} \sum_{i=1}^{n} W_i \cdot (\omega_n \cdot y_i)^2$$

Sedang energi potensial yang dimiliki oleh poros adalah:

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot \frac{W_1}{y_1} (y_1)^2 + \ldots\ldots\ldots + \frac{1}{2} \cdot \frac{W_n}{y_n} (y_n)^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{n} W_i \cdot y_i$$

$E_p = E_K$, maka :

$$\omega_n = \sqrt{g \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i \cdot y_i^2}}$$

Natural frequency : $f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot \omega_n \ (\frac{cycle}{sec})$

jadi putaran kritis poros adalah :

$$n_{cr} = \frac{30}{\pi} \sqrt{g \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i \cdot y_1^2}} \quad (rpm)$$

Agar supaya poros selamat di dalam kerjanya, maka putaran operasinya tidak boleh sama dengan atau pada putaran kritisnya.

Contoh soal

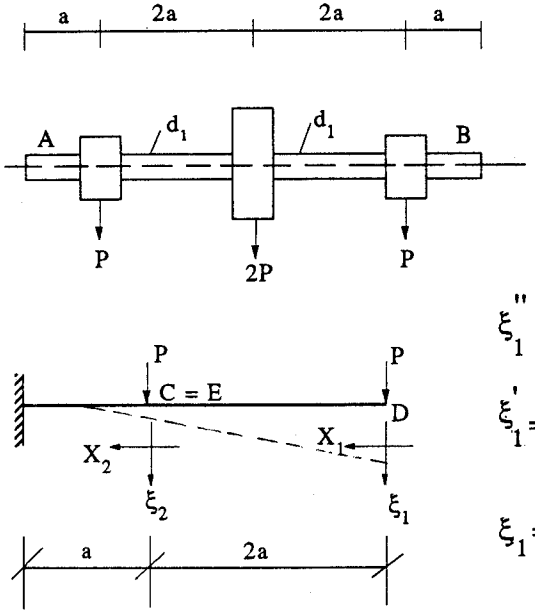
Gambar berikut adalah sistem gearing :
Bila P = 20 Kg, d_1 = 20 mm, a = 100 mm, berat poros diabaikan. Kontrollah apakah pada putaran 3000 rpm ia bebas dari putaran kritis?

Diketahui: modulus elastisitas

$$E = 2{,}15 \cdot 10^4 \ \frac{Kg}{mm^4}$$

Penyelesaian:

Untuk lebih mempercepat cara mengerjakan, mengingat sistem ini simetri, maka persoalan tersebut bisa dipotong.



$$\xi_1'' = \frac{P.x_1}{E.I}$$

$$\xi_1' = \frac{P.x_1^2}{2E.I} + C_1$$

$$\xi_1 = \frac{P.x_1^3}{6EI} + C_1 . x_1 + C_2$$

$$\xi_2'' = \frac{P(2a + x_2) + P.x_2}{E.I} = \frac{2Pa}{EI} + \frac{2P.x_2}{EI}$$

$$\xi_2' = \frac{2Pa}{EI} . x_2 + \frac{Px_2^2}{EI} + C_3$$

$$\xi_2 = \frac{Pa . x_2^2}{EI} + \frac{Px_2^3}{3EI} + C_3 . x_2 + C_4$$

Syarat-syarat batas :

$$\xi_1 (x_1 = 2a) = \xi_2 (x_2 = 0)$$

maka :

$$\frac{P(2a)^3}{6EI} + C_1(2a) + C_2 = C_4 \ \ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\xi_1'(x_1 = 2a) = \xi_2'(x_2 = 0)$$

maka :

$$\frac{P(2a)^2}{2EI} + C_1 = C_3 \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ (2)$$

$\xi_2(x_2 = a) = 0$, maka :

$$0 = \frac{Pa}{EI} a^2 + \frac{Pa^3}{3EI} + C_3 . a + C_4 \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ (3)$$

$\xi_2'\ (x_2 = a) = 0$, maka :

$$0 = \frac{2Pa}{EI} a + \frac{Pa^2}{EI} + C_3 \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ (4)$$

$$C_3 = -\frac{3Pa^2}{EI}$$

Dari persamaan (2) didapat :

$$C_1 = -\frac{3Pa^2}{EI} - \frac{2Pa^2}{EI} = -\frac{5Pa^2}{EI}$$

dari persamaan (4) didapat :

$$C_4 = -\frac{Pa^3}{EI} - \frac{Pa^3}{3EI} + \frac{3Pa^3}{3EI}, \text{ maka } C_4 = 1\frac{2}{3}\ \frac{Pa^3}{EI}$$

Dari persamaan (1) didapat :

$$C_2 = 1\frac{2}{3}\cdot\frac{Pa^3}{EI} + 10\frac{Pa^3}{EI} - \frac{4}{3}\frac{Pa^3}{EI} = 9\frac{2}{3}\frac{Pa^3}{EI}$$

$$\xi_c = \xi_E = \xi_2(x_2 = 0) = C_4 = 1\frac{2}{3}\frac{Pa^3}{EI}$$

$$\xi_D = \xi_1(x_1 = 0) = C_2 = 9\frac{2}{3}\frac{Pa^3}{EI}$$

Momen kelembaman poros terhadap sumbu netral bengkok :

$$I_x = \frac{\pi}{64}\cdot d_1^4 = \frac{\pi}{64}(20\,mm)^4 = 7850\,mm^4.$$

Lenturan di C sama dengan di E :

$$\xi_c = \xi_E = 1\frac{2}{3}\cdot\frac{20\,Kg.(100\,mm)^3}{2{,}15.10^4\,\frac{Kg.}{mm^2}.\,7850\,mm^4}$$

$$= 1\frac{2}{3}\cdot\frac{20.10^6}{2{,}15.10^4.7850}\,mm = 0{,}1975015\ mm.$$

Lenturan di D:

$$\xi_D = 9\frac{2}{3}\cdot\frac{20.10^6}{2{,}15.10^4.7850} = 1{,}1455092\,mm.$$

Frequensi sudut natural:

$$\omega_n = \sqrt{9800\,\frac{2.20.0{,}1975015 + 40.1{,}1455092}{2.20\,(0{,}1975015)^2 + 40.(1{,}1455092)^2}}$$

$$= 98{,}69456\ rad/sec.$$

$$\eta_{cr} = \frac{60}{2\pi}\cdot\omega_n = \frac{60}{2\pi}\cdot 98{,}69456 = 942{,}94165\ (Rpm)$$

jadi sistem ini terbebas dari putaran kritis.

4.6. METHODE TABULASI HOLZER

Seperti telah dibahas di atas bahwa apabila kita mempunyai poros panjang ℓ (cm), momen kelembaman polar poros I_p (cm^4), modulus geser bahan poros G (Kg/cm^2), diberi momen puntir M_t (Kg.cm) maka hubungan matematik dari variable-variable tadi adalah :

$$\varphi = \frac{M_t\,.\,\ell}{G\,.\,I_P}$$

di mana φ adalah sudut puntir specifik yang terjadi (derajad).

Bentuk persamaan tersebut bisa ditulis :

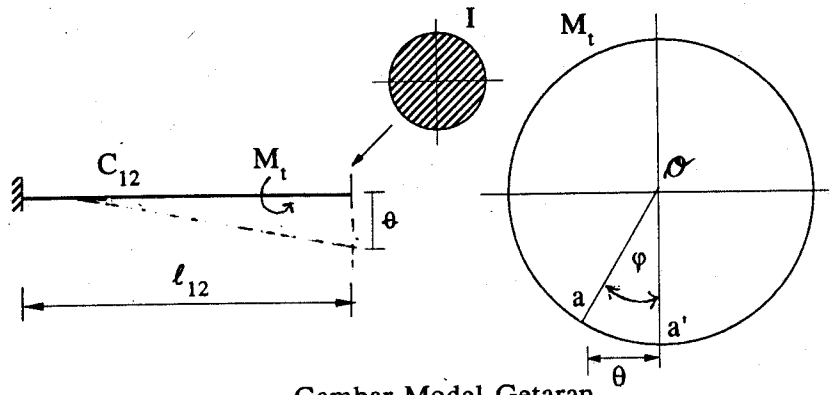
$$M_t = \frac{G\,.\,I_P}{\ell}\,\varphi.$$

atau :

$$M_t = K_t\,.\,\varphi$$

di mana : K_t ($\frac{Kg.cm}{rad}$) adalah equivalent spring konstanta dari poros putar atau sering pula disebut konstanta kekakuan dari poros.

Katakan saja kita mempunyai suatu massa benda dengan momen inertia terhadap sumbu putarnya adalah I ($Kg.cm.det^2$).
Benda tadi disambung kaku pada poros di bagian ujung kanan, sedang ujung poros paling kiri dibuat fixed. Konstanta kekakuan poros adalah C_{12} dan panjangnya ℓ_{12}. Bila pada rotating mass I diputar dengan M_t kecil



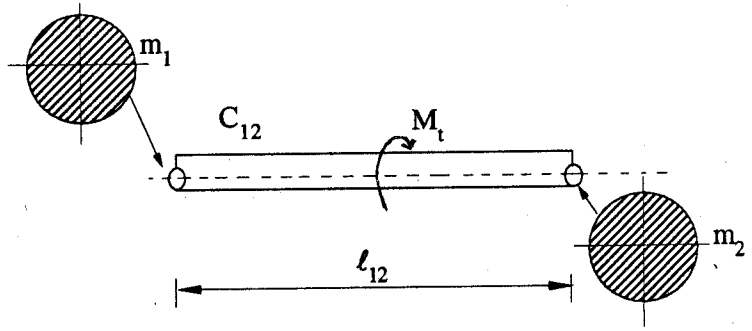
Gambar Model Getaran.

maka model matematik dari getaran yang terjadi adalah:

$$I \cdot \ddot{\varphi} + C \cdot \varphi = 0$$

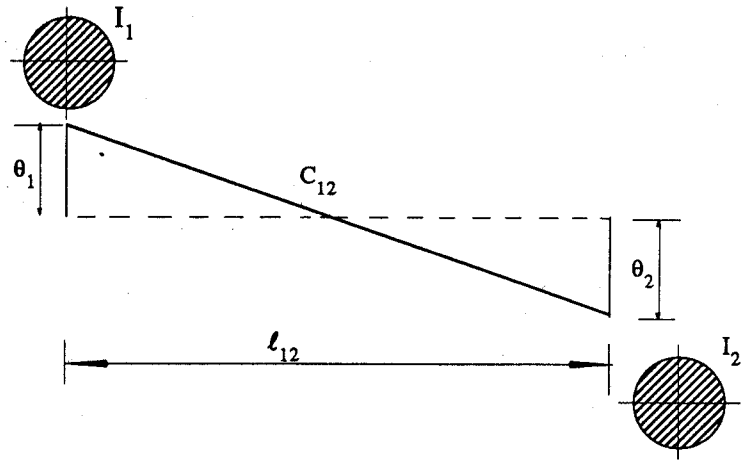
di mana dalam persoalan ini $C = C_{12}$.

Karena poros tadi dipuntir, maka titik a bergeser ke a'. Beda penggeseran titik ini disebut sudut puntir specifik φ atau simpangan sudut rotasi.
Dan karena pergeseran titik ini pula menyebabkan simpangan sudut sebagai simpangan linier θ atau disebut simpangan sudut relatip.
Sistem yang seperti digambarkan di atas di mana hanya ada satu massa putar I maka sistemnya disebut sistem satu massa.
Sedang untuk system yang mempunyai dua massa putar dapat digambarkan sebagai berikut :



di mana I_1 adalah momen inertia m_1 terhadap sumbu putar, I_2 adalah momen inertia m_2 terhadap sumbu putar, ℓ_{12} adalah panjang poros antara m_1 dan m_2 dan C_{12} adalah rigiditas poros antara m_1 dan m_2.

Sehingga model getarannya dapat digambarkan sebagai berikut :



Dalam penggambaran seperti ini kadang-kadang pula I_2 terletak di atas sumbu atau kedua-duanya terletak di bawah sumbu.
Model matematik dari getaran yang terjadi untuk sistem dua massa:

$$\left.\begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) &= 0 \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + C_{12}(\varphi_2 - \varphi_1) &= 0 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Persamaan differential ini diselesaikan dengan penyelesaian umum:

$$\left.\begin{aligned} \varphi_i &= \varnothing_i \cdot \sin \omega_n \cdot t \\ \ddot{\varphi}_i &= -\omega_n^2 \cdot \theta_i \cdot \sin \omega t \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Dari (2) dan (1) diperoleh :

$$(C_{12} - I_1 \cdot \omega_n^2)\,\theta_1 - C_{12} \cdot \theta_2 = 0$$

$$- C_{12} \cdot \theta_1 + (C_{12} - I_2 \cdot \omega_n^2) = 0$$

Dengan penyelesaian non trivial, maka determinant $\Delta = 0$

$$\Delta = \begin{vmatrix} (C_{12} - I_1 \cdot \omega_n^2) & - C_{12} \\ - C_{12} & (C_{12} - I_2 \cdot \omega_n^2) \end{vmatrix} = 0$$

maka :

$$(C_{12} - I_1 \cdot \omega_n^2)\ (C_{12} - I_2 \cdot \omega_n^2) - C_{12}^2 = 0$$

$$C_{12}^2 - C_{12} \cdot I_2 \cdot \omega_n^2 - C_{12} \cdot I_1 \cdot \omega_n^2 - I_1 \cdot I_2 \cdot \omega_n^4 - C_{12}^2 = 0$$

$$\omega_n^2 \cdot I_1 \cdot I_2 \left[\omega_n^2 - C_{12} \left(\frac{I_1 + I_2}{I_1 \cdot I_2} \right) \right] = 0$$

$$\omega_{n_1} = 0 \; ; \; \omega_{n_2} = \sqrt{C_{12} \frac{I_1 + I_2}{I_1 \cdot I_2}}$$

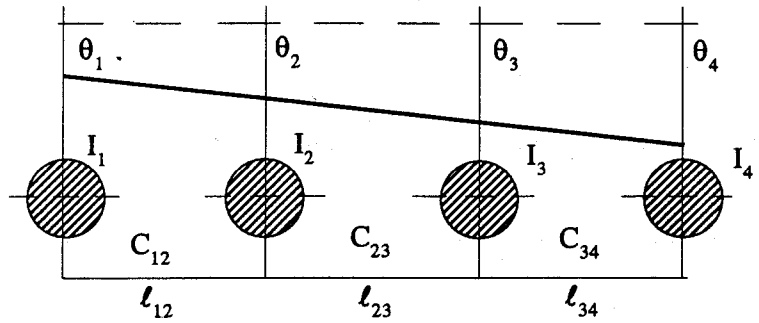
ω_{n_1} dan ω_{n_2} adalah circular of natural frequency dari sistem getaran torsi dua massa.

Untuk $\omega_n = 0$ massa berputar bersama-sama tanpa terjadi displacement relative (tidak terjadi getaran) sehingga tidak terjadi amplitudo.

Untuk $\omega_n = \sqrt{C_{12} \frac{I_1 + I_2}{I_1 \cdot I_2}}$ terjadi amplitudo sesuai dengan persamaan :

$$\theta_1 = - \frac{I_2}{I_1} \theta_2$$

Untuk mencari frequensi natural massa putar banyak, maka dipakai methode "Tabulasi Holzer".
Methode ini berangkat dari teori-teori di atas.
Berikut ditinjau sistem getaran dengan n massa putar dengan model getaran sebagai berikut :



di mana I_1, I_2, I_3 dan I_4 adalah momen inertia massa 1 s/d 4 terhadap sumbu putar, C_{12} adalah rigiditas poros antara 1 dan 2, ℓ_{12} adalah panjang equivalent antara 1 dan 2.

Penulisan model Matematik dari system:

Misalkan: $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3 < \theta_4$, maka persamaan differential dari sistem di atas bisa ditulis :

$$\left.\begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 &= (\varphi_2 - \varphi_1)\, C_{12} \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 &= - C_{12} (\varphi_2 - \varphi_1) + C_{23} (\varphi_3 - \varphi_2) \\ I_3 \cdot \ddot{\varphi}_3 &= - C_{23} (\varphi_3 - \varphi_2) + C_{34} (\varphi_4 - \varphi_3) \\ I_4 \cdot \ddot{\varphi}_4 &= - C_{34} (\varphi_4 - \varphi_3) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Penyelesaian umum persamaan differential :

$$\left.\begin{aligned} \varphi_i &= \theta_i \cdot \sin \omega_n \cdot t \\ \ddot{\varphi}_i &= -\omega_n^2 \cdot \theta_i \cdot \sin \omega_n \cdot t \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Dari (3) dan (4) didapat :

$$\left.\begin{aligned} -I_1 \cdot \omega_n^2 \cdot \theta_1 &= C_{12}(\theta_2 - \theta_1) \\ -I_2 \cdot \omega_n^2 \cdot \theta_2 &= -C_{12}(\theta_2 - \theta_1) + C_{23}(\theta_3 - \theta_2) \\ -I_3 \cdot \omega_n^2 \cdot \theta_3 &= -C_{23}(\theta_3 - \theta_2) + C_{34}(\theta_4 - \theta_3) \\ -I_4 \cdot \omega_n^2 \cdot \theta_4 &= -C_{34}(\theta_4 - \theta_3) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (5)$$

Jika diselesaikan persamaan (5) pertama didapat :

$$\theta_2 = \theta_1 - \frac{I_1 \cdot \omega_n^2 \cdot \theta_1}{C_{12}}$$

$$\theta_3 = \theta_2 - \frac{I_1 \cdot \omega_n^2 \cdot \theta_1 + I_2 \cdot \omega_n^2 \cdot \theta_2}{C_{23}}$$

$$\theta_4 = \theta_3 - \frac{I_1 \cdot \omega_n^2 \cdot \theta_1 + I_2 \cdot \omega_n^2 \cdot \theta_2 + I_3 \cdot \omega_n^2 \cdot \theta_3}{C_{34}}$$

Secara umum untuk n system massa :

$$\theta_n = \theta_{n-1} - \frac{\sum_{i=1}^{n} I_i \cdot \omega_n^2 \cdot \theta_i}{C_{(n-1)n}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.9)$$

Bila persamaan (5) dijumlahkan didapat:

$$\sum_{i=1}^{n} I_i \cdot \omega_n^2 \cdot \theta_i = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4.10)$$

Untuk mendapatkan harga ω_n, maka dicoba-coba dengan tabulasi "Holzer".

Di dalam pemakaian tabulasi Holzer maka dipersyaratkan bahwa ia memenuhi persamaan (4.9) dan (4.10).

Dengan mengambil amplitudo pada masa rotasi pertama sebesar 1 (satu) radiant, maka amplitudo relatip dari massa rotasi yang lain dapat dihitung dengan persamaan (4,9).

Bentuk Tabulasinya sebagai berikut :

Coba-coba	No.	I	θ	$I.\omega_n^2.\theta$	$\Sigma I.\omega_n^2.\theta$	$C_i(i+1)$	$\frac{I.\omega_n^2.\theta}{C_i(i+1)}$
1.	1.	I_1	1,00	$I_1.\omega_n^2$	$I_1.\omega_n^2$	C_{12}	$I_1.\omega_n^2/C_{12}$
2.	2.	I_2	θ_2	$I_2.\omega_n^2.\theta_2$	$I_1.\omega_n^2 + I_2.\omega_n^2\theta_2$	C_{23}	$(I_1.\omega_n^2 + I_2.\omega_n^2.\theta_2)/C_{23}$
3	3.	.....	....	.....	.....	.....	.....
.							
.							
.							
n	n.	.....	....	.....	.....	.....	.....
2							

Contoh Soal

Sistem getaran torsi sesuai dengan massa rotasi

$I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 8{,}616.10^{-2}$ Kg. cm. det^2.

$I_5 = 0{,}341$ Kg. cm. det^2 dan $I_6 = 0{,}44$ Kg. cm.det^2

Konstanta rigiditas poros:

$C_{12} = C_{23} = C_{34} = 1004800$ Kg.cm.det^2.

$C_{45} = 12{,}23.10^5$ Kg cm/rad

$C_{56} = 2{,}7.10^5$ Kg cm/rad

Apakah poros bebas dari putaran kritis bila direncanakan putaran poros 2000 rpm.

Penyelesaian :

Kecepatan sudut poros :

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot 2500 = 261{,}7 \text{ rad/sec.}$$

Dibuat Tabulasi Holzer :

Coba-coba	No	I	$I.\omega_n^2$.	θ	$I.\omega_n^2.\theta$	$\Sigma I.\omega_n^2.\theta$	$C_i(i+1)$	$\frac{\Sigma I.\omega_n^2.\theta}{C_i(i+1)}$
	1	0,08616	5900,83	1	5900.83	5900,83	1004800	0,005873
	2	0,08616	5900,83	0,99413	5866,192	11767,022	1004800	0,0117
	3	0,0861	5900,83	0,98242	5797,09	17564,112	1004800	0,0175
261,7								
	4	0,08616	5900,83	0,96492	5693,83	23257,94	1223000	0,019
	5	0,341	13354,03	0,94592	22091,04	45348,99	27000	1,68
	6	0,44	30134,24	-0,734	-22120,9	23228,09*	-	-

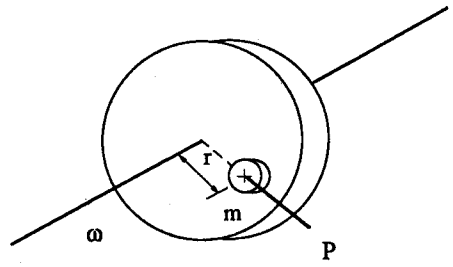
Karena $\Sigma I . \omega_n^2 . \theta$ tidak sama dengan nol akan tetapi berjumlah 23228,09, maka dengan demikian ia bebas dari putaran kritis.

4.7. BALANCING SYSTEM

Di dalam perencanaan bangunan mesin di mana kita dihadapkan kepada rotasi di samping problem translasi. Gerakan-gerakan menimbulkan percepatan-percepatan, dan percepatan-percepatan menimbulkan gaya-gaya dinamis (gaya oleh adanya percepatan-percepatan).

Pada getaran rotasi khususnya di mana untuk massa m yang sangat kecil dan terletak sejauh r dari sumbu putar, bila diputar dengan kecepatan sudut sebesar ω (rad/sec) maka akan menimbulkan gaya-gaya centrifugal (yaitu gaya yang bekerja tegak lurus sumbu putar dan mempunyai arah keluar dari titik putar) yang besarnya adalah :

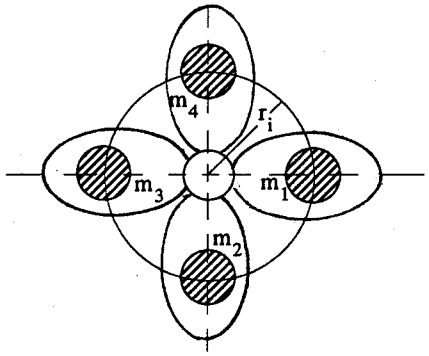
$$\boxed{P = m . \omega^2 . R} \quad \text{(Kg)}$$



Pada pembicaraan 4.3 contoh soal nomor 3 didapatkan bahwa suatu sistem poros putar pertama terdapat natural frequensi sebesar

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{G \cdot I_p}{I(I_{ip} + I_{ib})}} \qquad (\frac{cycle}{sec})$$

di mana I_{ip} adalah momen inertia propeller dan I_{ib} adalah momen inertia batang poros.
Kalau misalnya pada propeller terdapat massa m_1, m_2, m_3 dan m_4 di samping I_{ip} di atas, maka momen inertia propeller setelah ada penambahan massa-massa adalah:



$$I_{ip_s} = I_{ip} + \sum_{i=1}^{n} m_i \cdot r_i^2$$

Jadi setelah terdapat penambahan massa-massa ini, maka frequensi natural sistem poros semakin kecil.

Ini berarti bahwa apabila poros propeller diputar dengan kecepatan putar yang tetap besarnya seperti contoh tadi maka ia pasti patah.

Oleh sebab itu di dalam perencanaan propeller kapal, propeller pesawat terbang, propeller turbine, propeller/impeller pompa serta bagian-bagian mesin yang berputar dan bergerak lainnya, massa yang sangat kecilpun harus diperhitungkan adanya di dalam perencanaan secara keseluruhan.

Hal ini dimaksudkan bahwa rotating mass (massa putar) harus

balance, sebab apabila ia tidak balance maka di samping porosnya patah bearingnyapun menerima beban yang lebih besar.

Untuk mengetahui balance atau tidaknya propeller tadi, bisa diuji dengan mesin uji balance "Balancing Machine' yang diperlengkapi dengan alat perecord otomatis.

Cara lain untuk menguji adalah dengan memasang propeller tadi pada poros pertolongan kemudian pada sebelah menyebelah propeller ditumpu pada tumpuan yang relatif runcing. Tumpuan ini memanjang sehingga memungkinkan bagi penguji untuk memutar-mutar propeller tadi berkali-kali secara perlahan-lahan.

Dari sini bisa didiagnosis (dirasakan karakteristik gerak rotasi propeller).

Indikator bahwa propeller itu unbalance yaitu terlihat adanya daun propeller yang terasa lebih berat dibanding yang lain sehingga oleh karenanya terlihat adanya keganjilan di dalam perputarannya.

Kalau misalnya salah satu daun propeller tadi didiagnosis terlalu berat, maka ia kita beri tanda kapur dan kemudian digerenda karena untuk mengurangi massa yang lebih pada daun propeller dimaksud dan kemudian diuji lagi dan seterusnya sampai terlihat bahwa di dalam perputaran propeller tidak ganjil (aneh) atau unbalance.

Pekerjaan ini memerlukan pengalaman, karena di samping harus kritis (teliti), harus mempunyai perasaan (feeling) yang peka serta mampu untuk memikirkan bagaimana membuat ia stabil (balance).

Oleh karena itu tenaga yang mengerjakan test balance ini harus ulet dan benar-benar menkonsentrasikan seluruh daya upaya serta pikirannya kepada problema test yang dihadapi. Karena di samping mengurangi massa daun propeller pada titik yang dimaksud, kadang-kadang harus menambah lapisan massa dengan las tembaga atau kuningan dan kemudian diuji lagi dan seterusnya.

Lagi pula di dalam pekerjaan menambah dan atau mengu-

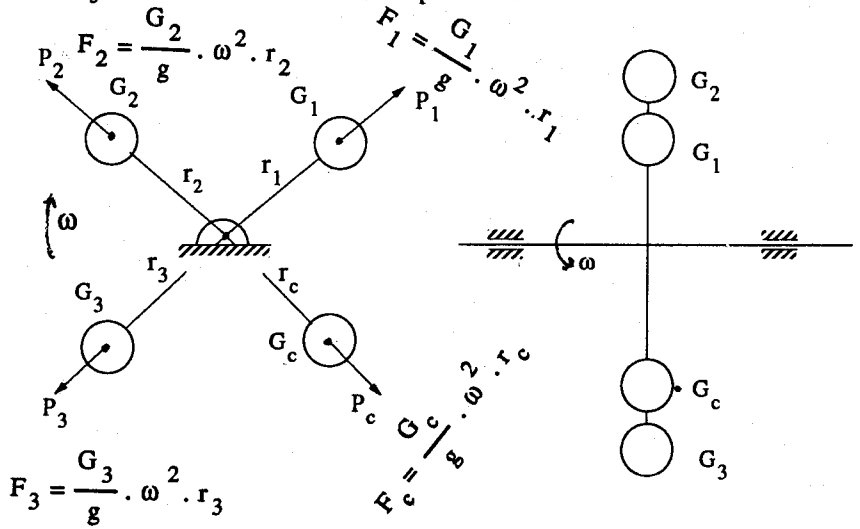
rangi massa ini ia harus mengetahui ancer-ancer jarak massa tadi terhadap sumbu putar (r), harus berapa besarnya.

Di dalam pembicaraan balancing ini ada 2 (dua) macam system balancing yang kita kenal yaitu statics balance dan dynamic balance. Statics balance adalah cara-cara membalancir di mana penjumlahan gaya-gaya yang bekerja adalah sama dengan nol. ($\Sigma P = 0$).

Sedangkan dynamics balance yaitu cara-cara membalancir di mana penjumlahan momen maupun gaya yang bekerja adalah sama dengan nol ($\Sigma P = 0$ dan $\Sigma M = 0$).

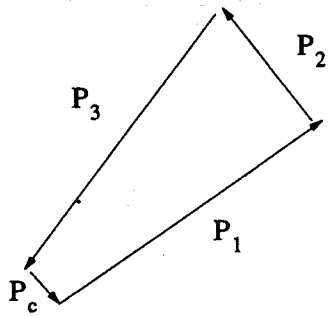
Di lapangan, statics balance dipakai pada pembalancingan propeller, roda gila; sedang dynamics balance dipakai pada sistem poros turbin wheel yang berderet panjang khususnya turbin bertingkat, sistem kruk as engine jenis piston, serta massa-massa putar panjang lainnya.

Ditinjau massa berikut terhadap statics balance.



Sistem 3 massa pada gambar (G_1, G_2 dan G_3) diputar maka terjadi gaya centrifugal (P_1, P_2 dan P_3).
Untuk mencapai syarat balance statics, maka:

$\Sigma P = 0$; maka kita buat diagram cremona dengan skala gaya.



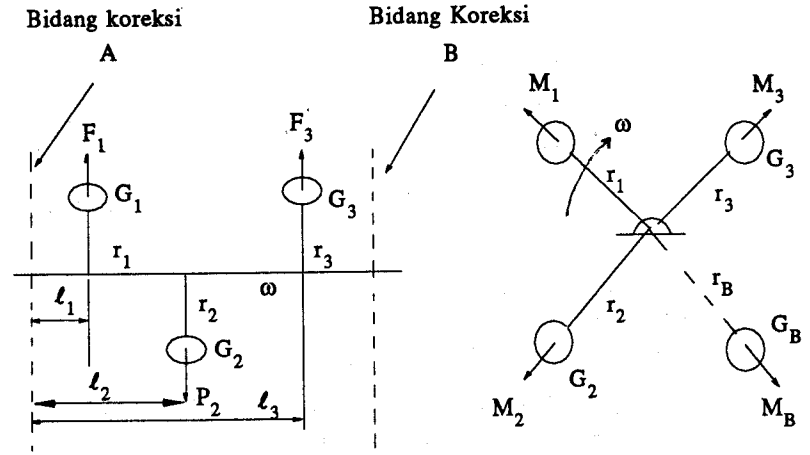
Dari diagram cremona terlihat bahwa untuk mencapai balance, maka perlu dicounter dengan gaya P_c dengan arah seperti gambar.

Sedangkan besar masing-masing gaya tersebut sebagai berikut :

$P_1 = G_1 \cdot r_1$, $P_2 = G_2 \cdot r_2$, $P_3 = G_3 \cdot r_3$, $P_c = G_c \cdot r_c$.

Jadi dengan menentukan jarak r_c pada posisi seperti vektor yang ditunjukkan oleh gaya P_c, maka G_c dapat dihitung. Kini kita meninjau keadaan dynamics balance.

Gambar berikut menunjukkan sistem massa putar.



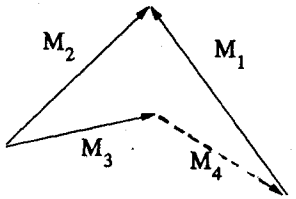
Massa G_1 dengan jarak ℓ_1 dari A, massa G_2 dengan jarak ℓ_2 dari A dan massa G_3 dengan jarak ℓ_3 dari A. Untuk menguji apakah system 3 massa tadi sudah dynamics balance atau belum, maka pada sebelah kanan ditarik bidang koreksi yaitu bidang pengontrol yang merupakan tempat kedudukan massa untuk membalance sistem ini di samping pada bidang koreksi A. Syarat terdapatnya dynamics balance bila

$\Sigma P = 0$ dan $\Sigma M = 0$;

maka : $M_1 + M_2 + M_3 + M_B = 0$

atau : $\overline{l_1\ G_1\ r_1} + \overline{l_2\ G_2\ r_2} + \overline{l_3\ G_3\ r_3} + \overline{l_B\ G_B\ r_B} = 0$

Kemudian dibuat diagram cremona momen dengan skala :



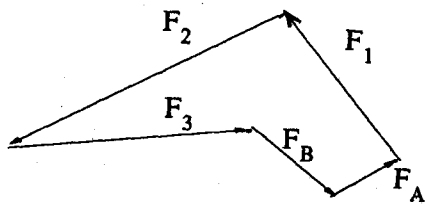
Dari diagram ini M_B ketemu.

Dicek terhadap $\Sigma P = 0$, maka :

$$\overline{P_1} + \overline{P_2} + \overline{P_3} + \overline{P_A} + \overline{P_B} = 0$$

$$\overline{G_1 \cdot r_1} + \overline{G_2 \cdot r_2} + \overline{G_3 \cdot r_3} + \overline{G_A \cdot r_A} + \overline{G_3 \cdot A_B} = 0$$

Dibuat diagram cremona :



Dari diagram ini ukuran G_A, r_A,G_B, r_B, dapat ditemukan termasuk pula arah dan letaknya dari sumbu putar.

KESIMPULAN

Perencanaan mesin umumnya dan mesin-mesin fluida atau fluid planes dalam arti yang sebenarnya memang cukup kompleks.

Terdapat banyak cabang ilmu pengetahuan yang terlebih dulu harus dikuasai seperti halnya ilmu tentang gerakan, ilmu tentang fluida, ilmu tentang bahan yang dipakai untuk pembuatan mesin fluida atau fluid planes, serta ilmu tentang getaran.

Kesemuanya merupakan cabang-cabang atau materi-materi ilmu yang mutlak harus bisa dikuasai benar-benar.

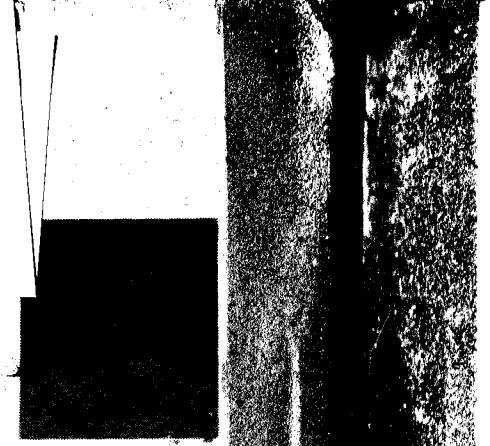
Kalau direnungkan dalam analisa persoalan masing-masing ilmu hampir sama sekali tidak meninggalkan peranan matematik. Jadi peranan matematik sangat dan sangat menentukan, sebab ia merupakan ilmu yang mendasari segala ilmu yang dituliskan di atas.

Dengan matematik seseorang bisa menghayalkan sesuatu dengan mengekspresikannya di atas kertas (perencanaan, penelitian & pengembangan) sebelum sesuatu gagasan tentang sesuatu karya cipta seorang insinyur itu diapplikasikan di lapangan. Oleh karena itu tidak mungkin terjadi kemajuan kebudayaan tanpa melibatkan matematik.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. James A. Richards. J.R, Francis Weston sears, M. Russel Wehr, Mark W. *Zemansky Modern University Physics*, First Edition, 1963.
2. B. Nekrosov, *Hydraulics For Aeronautical Engineer*, Peace Publisher, Moscow
3. King, *Hydraulics*, Fifth Edition, 1948
4. Streeter/Wylie, *Fluid Mechanics*, Sixth edition, 1975
5. A.G. Handsen, *Fluid Mechanics*, 1967
6. Van Vlack, *Elements Of Materials Science*, Second Printing, 1960
7. Timoshenko, *Strength Of Materials*, 1956
8. P. Stepin, *Strength Of Materials*, Second Edition, Peace Publisher, Moscow
9. Josepth Edward Shigley, *Theory of Machine*, MC. Graw Hill Book Company, 1961
10. H. Church, *Mechanical Vibrations*, second Edition, 1963
11. S. Timoshenko, *Vibration Problems in Engineering*, 1954.

12. G.W. Housner & D.E. Hudson, *Applied Mechanics Dynamics*, 1959
13. N. Petrovsky, *Marine Internal Combustion Engine*, Peace Publisher, Moscow.
14. Dobrovosky, *Machine Elements*, Peace Publisher, Moscow
15. Charles B. Morrey J.R
    University Calculus with analytic Geometry, Addison Wesley Publishing, First Printed, 1962.
16. Thomas/Finney
    Calculus and analytic geometry, Addison Wesley Publishing Company, fifth edition, October, 1978
17. George B. Thomas J.R
    Calculus and Analytic Geometry, Japan Publications Trading Company, Ltd, Second Printing, 1963.
18. Suvorov
    Higher Mathematics, Peace Publisher, Moscow, Second Printing, First Published, 1963.
19. Ir.Iman Subarkah, *Bangunan Air*
    Penerbit Idea Dharma Bandung, cetakan ke 2, Oktober 1974



Nama lengkap : Ir.Suharto

Tempat/tgl. lahir : Mojokerto, 30 Oktober 1953

Pendidikan :
1. S.D. di Mojokerto, lulus 1966
2. S.M.P.N. VIII Surabaya, lulus 1969
3. S.T.M. III Negeri Surabaya, lulus 1972
4. Sarjana Teknik Mesin dari Institut Teknologi 1 Nopember Surabaya lulus 1981.

Pengalaman Kerja :

1. Assisten luar biasa di F.T. Mesin, F.T. Perkapalan I.T.S. (1977 1979)
2. Guru S.T.M. Practica Surabaya (1978 – 1980)
3. D.P.U.P. Jatim Bidang Bina Marga, Staff Teknik Proyek Surabaya Kertosono-Madiun (1980 – 1981)
4. Dosen Akademi Teknik Perkapalan Surabaya (1981)
5. Ka. Div. Teknik & Produksi Perusahaan karoseri di Malang (1981
6. Dosen Fak. Teknik Universitas Merdeka, Fak. Teknik Universitas Kristen, Institut Sains & Teknologi Palapa, Fak. Teknik Universitas Brawijaya Malang (1981 – ...)

Hobby : Merenungkan, meneliti dan mengembangkan ilmu & teknologi yang bermanfaat bagi kehidupan di jagad raya